



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

BULLETIN
DE
L'ASSOCIATION TECHNIQUE
MARITIME.



BULLETIN
DE
L'ASSOCIATION TECHNIQUE
MARITIME.

N° 17.
SESSION DE 1906.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.
1906

Sci 1480.188



DeGrand fund

BULLETIN
DE
L'ASSOCIATION TECHNIQUE
MARITIME.

STATUTS

ADOPTÉS PAR L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE LE 9 MAI 1905.

I. — But et composition de l'Association.

ARTICLE PREMIER. — L'Association dite *Association Technique Maritime*, fondée en 1888, a pour but de perfectionner la construction et l'armement des navires :

1° En rassemblant en commun les résultats de l'expérience acquise isolément par les constructeurs, mécaniciens, officiers de marine, navigateurs, armateurs, yachtmen et autres, et qui, sans valeur lorsqu'ils restent isolés, peuvent aider au progrès des constructions, lorsqu'ils se trouveront condensés dans une publication spéciale ;

2° En faisant connaître les résultats des travaux accomplis à l'étranger, et en constituant des archives renfermant tous les renseignements utiles aux industries maritimes ;

3° En mettant à la disposition de l'initiative individuelle la force collective de l'institution pour étudier les inventions nouvelles, discuter les théories et problèmes techniques, et poursuivre les recherches expérimentales et autres, qui peuvent être de nature à faire progresser la science des constructions navales, les méthodes d'exploitation maritime et la marine en général.

Sa durée est illimitée.

Elle a son siège social à Paris.

ART. 2. — L'Association se compose de membres *titulaires*, de membres *donateurs*, de membres *bienfaiteurs* et de membres *d'honneur*.

Pour être membre titulaire, il faut :

1° Être présenté par deux membres de l'Association, et agréé par le Conseil d'Administration ;

2° Payer une cotisation annuelle, dont le minimum est de 30^{fr}.

La cotisation peut être rachetée en versant une somme de 400^{fr}.

Pour être membre donateur, il faut être agréé par le Conseil, et verser une somme de 1000^{fr} au moins. Pourront aussi être nommées membres donateurs les Sociétés ou Collectivités ayant versé une somme d'au moins 1000^{fr}. Ces Sociétés ou Collectivités auront le droit de se faire représenter par un délégué aux Assemblées Générales, et à toutes les réunions de l'Association.

Pour être membre bienfaiteur, il faut être agréé par le Conseil, et avoir fait à l'Association une importante libéralité.

Peuvent être nommées membres d'honneur des personnalités auxquelles l'Association voudra conférer une distinction honorifique. Ils ne payent pas de cotisation.

ART. 3. — La qualité de membre de l'Association se perd :

1° Par la démission;

2° Par la radiation prononcée, pour motifs graves, par le Conseil d'Administration, le membre intéressé ayant été préalablement appelé à fournir ses explications, sauf recours à l'Assemblée Générale.

II. — Administration et fonctionnement.

ART. 4. — L'Association est administrée par un Conseil composé de 24 membres, élus pour quatre ans par l'Assemblée Générale.

En cas de vacance, le Conseil pourvoit au remplacement de ses membres, sauf ratification par la plus prochaine Assemblée Générale.

Les membres du Conseil doivent être Français, et jouir de leurs droits civils et politiques.

Le renouvellement du Conseil a lieu par quarts.

Les membres sortants sont rééligibles.

Le Conseil choisit parmi ses membres un Bureau composé des Président, Vice-Présidents, Secrétaires et Trésorier.

Le Bureau est élu pour un an; les membres sont rééligibles.

ART. 5. — Le Conseil se réunit tous les trois mois, et chaque fois qu'il est convoqué par son Président, ou sur la demande du quart de ses membres.

La présence du quart des membres du Conseil d'Administration est nécessaire pour la validité de ses délibérations.

Il est tenu procès-verbal des séances.

Les procès-verbaux sont signés par le Président et un Secrétaire.

ART. 6. — Toutes les fonctions du Conseil d'Administration et du Bureau sont gratuites.

ART. 7. — L'Assemblée Générale des membres titulaires, donateurs, bienfaiteurs et d'honneur de l'Association se réunit chaque année, et chaque fois qu'elle est convoquée par le Conseil d'Administration, ou sur la demande du quart au moins de ses membres.

Son ordre du jour est réglé par le Conseil d'Administration.

Son Bureau est celui du Conseil.

Elle entend les rapports sur la gestion du Conseil d'Administration, sur la situation financière et morale de l'Association.

Elle approuve les comptes de l'exercice clos, vote le budget de l'exercice suivant, délibère sur les questions à l'ordre du jour et pourvoit au renouvellement des membres du Conseil d'Administration.

Ce rapport annuel et les comptes sont adressés chaque année à tous les membres de l'Association.

ART. 8. — Les dépenses sont ordonnancées par le Président.

L'Association est représentée par lui en justice, et dans tous les actes de la vie civile.

En cas d'empêchement absolu, le Président peut être remplacé par un membre du Bureau désigné par le Conseil d'Administration.

ART. 9. — Les délibérations du Conseil d'Administration, relatives aux acquisitions, échanges et aliénations d'immeubles nécessaires au but poursuivi par l'Association, constitution d'hypothèques sur lesdits immeubles, baux excédant neuf années, aliénation de biens dépendant du fonds de réserve et emprunts, ne sont valables qu'après l'approbation de l'Assemblée Générale.

ART. 10. — Les délibérations du Conseil d'Administration relatives à l'acceptation des dons et legs ne sont valables qu'après l'approbation administrative donnée dans les conditions prévues par l'art. 910 du Code civil, et les art. 5 et 7 de la loi du 4 février 1901.

Les délibérations de l'Assemblée Générale relatives aux aliénations de biens dépendant du fonds de réserve ne sont valables qu'après l'approbation du Gouvernement.

ART. 11. — Le Conseil d'Administration est chargé de la gestion générale de l'Association.

Le Trésorier est chargé de la conservation des capitaux de l'Association, du recouvrement de ses recettes et de l'acquittement de ses dépenses. Ses comptes sont examinés chaque année, avant l'Assemblée générale, par un Comité spécial composé de trois membres appartenant au Conseil, désignés par le Président. Les comptes leur sont remis par le Trésorier quinze jours au moins avant l'Assemblée Générale.

Les Secrétaires sont chargés de la correspondance, de la rédaction des procès-verbaux des séances du Conseil d'Administration et des Assemblées générales, de la publication du Bulletin et de la conservation de la Bibliothèque.

III. — Fonds de réserve et ressources annuelles.

ART. 12. — Le fonds de réserve comprend :

- 1° La dotation;
- 2° Le dixième au moins du revenu des biens de l'Association;
- 3° Les sommes versées pour le rachat des cotisations par les membres titulaires et donateurs;
- 4° Le capital provenant des libéralités sans affectation spéciale.

ART. 13. — Le fonds de réserve est placé en rentes nominatives sur l'État, ou en obligations de chemins de fer, dont le minimum d'intérêt est garanti par l'État.

Il peut être également employé à l'acquisition d'immeubles nécessaires au but poursuivi par l'Association.

ART. 14. — Les recettes annuelles de l'Association se composent :

- 1° Des cotisations et souscriptions de ses membres;
- 2° Des subventions qui pourront lui être accordées;
- 3° Du produit des libéralités dont l'emploi immédiat a été autorisé, des ressources créées à titre exceptionnel, et, s'il y a lieu, avec l'agrément de l'autorité compétente;
- 4° Du revenu de ses biens;
- 5° Du produit de la vente de ses publications.

IV. — Modification des statuts, et dissolution.

ART. 15. — Les Statuts ne peuvent être modifiés que sur la proposition du Conseil d'Administration ou du dixième des membres titulaires, soumise au Bureau au moins un mois avant la séance.

L'Assemblée extraordinaire, convoquée spécialement à cet effet, ne peut modifier les statuts qu'à la majorité des deux tiers des membres présents.

L'Assemblée doit se composer du quart au moins des membres en exercice.

Si cette proposition n'est pas atteinte, l'Assemblée est convoquée de nouveau, mais à quinze jours au moins d'intervalle, et cette fois elle peut valablement délibérer, quel que soit le nombre des membres présents. Dans tous les cas, la modification ne peut être votée qu'à la majorité des deux tiers des membres présents.

ART. 16. — L'Assemblée Générale appelée à se prononcer sur la dissolution de l'Association, et convoquée spécialement à cet effet, doit comprendre au moins la moitié plus un des membres en exercice.

Si cette proportion n'est pas atteinte, l'Assemblée est convoquée de nouveau, mais à quinze jours au moins d'intervalle, et cette fois elle peut valablement délibérer quel que soit le nombre des membres présents. Dans tous les cas, la dissolution ne peut être votée qu'à la majorité des deux tiers des membres présents.

ART. 17. — En cas de dissolution, volontaire, statutaire, prononcée en justice ou par décret, ou en cas de retrait du décret de reconnaissance de l'Association comme Établissement d'utilité publique, l'Assemblée générale désigne un ou plusieurs commissaires chargés de la liquidation des biens de l'Association.

Elle attribue l'actif net à un ou plusieurs établissements analogues, publics ou reconnus d'utilité publique.

Ces délibérations sont adressées sans délai au Ministre de l'Intérieur et au Ministre de la Marine.

ART. 18. — Les délibérations de l'Assemblée générale prévue aux art. 15, 16 et 17 ne sont valables qu'après l'approbation du Gouvernement.

V. — Surveillance et règlement intérieur.

ART. 19. — Le Président devra faire connaître dans les trois mois à la Préfecture de la Seine tous les changements survenus dans l'Administration et la direction.

Les registres et pièces de comptabilité de l'Association seront présentés sans déplacement, sur toute réquisition du Préfet, à lui-même ou à son délégué.

Le rapport annuel et les comptes sont adressés chaque année au Préfet de la Seine, au Ministre de l'Intérieur et au Ministre de la Marine.

ART. 20. — Le Ministre de la Marine aura le droit de faire visiter par ses délégués les établissements fondés par l'Association, et de se faire rendre compte de leur fonctionnement.

ART. 21. — Un règlement préparé par le Conseil d'Administration, et approuvé par l'Assemblée générale arrête les conditions de détail propres à assurer l'exécution des présents Statuts.

RÈGLEMENT INTÉRIEUR

ADOPTÉ PAR L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 9 MAI 1905.

Recrutement des membres.

ART. 1. — Pour être nommé membre de l'Association Technique Maritime, il faut être âgé de 21 ans au moins. Les candidats devront en outre s'occuper ou s'être occupés de la construction des navires, de celle des machines ou chaudières de navires, des machines auxiliaires susceptibles d'être appropriées aux navires ou à leur exploitation, de ports maritimes, de navigation militaire, commerciale ou de plaisance, d'hydrographie, d'armement de navires, d'assurances maritimes, de classification des navires, de législation maritime, de sauvetage des bateaux, etc., et, d'une façon générale, être choisis parmi les personnes, qui, par leurs occupations habituelles, leurs travaux antérieurs ou leurs études scientifiques, s'intéressent aux questions techniques maritimes, et sont à même de les discuter.

Cotisations.

ART. 2. — Les cotisations des membres titulaires sont dues à partir du 1^{er} janvier de chaque année, quelle que soit l'époque de l'admission. Les membres faisant déjà partie de l'Association doivent verser leur cotisation dans le premier trimestre de chaque année. A défaut de paiement de la cotisation pendant deux années consécutives, le Conseil peut prononcer la radiation du membre en retard, après mise en demeure par lettre recommandée.

Le Conseil peut accorder des dispenses de cotisation aux membres qui se trouvent dans des conditions spéciales, ou accepter en paiement des livres ou autres objets utiles à l'Association.

Publications.

ART. 3. — L'Association publie au commencement de chaque année un Annuaire, dont un exemplaire est envoyé à chaque membre. Des exemplaires supplémentaires pourront être mis à la disposition des membres dans un but de propagande.

L'Association publie également un Bulletin, dans lequel sont insérés des mémoires émanant de membres de l'Association ou de personnes étrangères.

Le Conseil est seul juge du choix des mémoires à insérer dans le Bulletin. Tout mémoire remis à l'Association devient sa propriété. S'il n'est pas inséré dans le Bulletin de l'Association, il peut être rendu à son auteur.

Tout mémoire accepté par l'Association ne peut être publié ailleurs qu'avec son autorisation écrite.

Le Bulletin est adressé à tous les membres de l'Association; il n'est adressé aux membres titulaires qu'après acquittement de la cotisation de l'année courante.

Une collection aussi complète qu'il se pourra du Bulletin sera remise à tous les membres nouveaux Donateurs et Bienfaiteurs.

Les exemplaires du Bulletin en excédent peuvent être livrés aux membres titulaires nouveaux au prix de 10^{fr} l'exemplaire, sauf le Bulletin n° 1, qui leur sera remis gratuitement. Le Conseil pourra agir de même à l'égard de membres anciens, qui désireraient compléter leur collection.

Les exemplaires en excédent pourront également être livrés à des personnes n'appartenant pas à l'Association, contre versement d'un prix fixé par le Conseil.

Conseil d'Administration.

ART. 4. — Le Conseil d'Administration comprend un Président, six Vice-Présidents, un Secrétaire général, un Secrétaire, un Secrétaire-adjoint, un Trésorier et treize membres.

Les secrétaires et le trésorier doivent habituellement résider à Paris.

Le Conseil se réunit sur la convocation et sous la présidence du Président ou d'un Vice-Président. En cas d'absence du Président et des Vice-Présidents, le plus âgé des membres présents prend la présidence de la réunion.

En cas de partage des voix, celle du président de la réunion est prépondérante.

Assemblées Générales et réunions.

ART. 5. — Une Assemblée Générale a lieu, en général, au mois de mai. La présidence d'honneur de cette Assemblée peut être déléguée à une notabilité choisie par le Conseil.

A cette Assemblée, après délibération sur les objets définis par l'article 7 des Statuts, les mémoires présentés et acceptés par le Conseil d'Administration sont lus et discutés.

Le Conseil d'Administration peut organiser d'autres réunions, soit à Paris, soit dans d'autres localités.

Les discussions politiques et religieuses sont interdites dans toutes les réunions.

Gestion financière.

ART. 6. — Après prélèvement statutaire pour attribution au fonds de réserve, les ressources de l'Association sont employées au paiement des frais de toutes sortes nécessités par l'Administration, à la publication du Bulletin, à la constitution d'une bibliothèque technique, etc.

Les sommes restant en caisse à la fin de chaque année sont placées par les soins du Conseil, ou réservées pour faire face aux dépenses exceptionnelles que l'Association peut avoir à supporter.

La somme nécessaire pour faire face aux dépenses courantes, déterminée par le Conseil, reste entre les mains du Trésorier.

Les fonds dont l'emploi n'est pas immédiatement prévu sont déposés dans un établissement de crédit, et n'en peuvent être retirés que sous la signature collective du Président et du Trésorier. En cas d'empêchement, chacun d'eux peut être remplacé par un Vice-Président désigné par le Conseil.

FONDATION CANET.

Règlement

délibéré par le Bureau ⁽¹⁾ le 9 mai, et accepté par M. Canet le 11 mai 1901.

DISPOSITIONS FINANCIÈRES.

ART. 1. — Les arrérages de la Fondation Canet sont consacrés, conformément aux intentions du donateur, à des encouragements, tels que médailles, prix en espèces, bourses de voyage à l'étranger, etc., de nature à récompenser ou à provoquer des progrès dans l'art des Constructions navales ⁽²⁾.

ART. 2. — Les valeurs qui forment le capital de cette Fondation sont, ainsi que ses arrérages, placées dans les caisses d'un établissement de crédit, et n'en peuvent sortir que sur la double signature du Président et du Trésorier.

ART. 3. — Il est tenu, dans les écritures de l'Association, un compte spécial du capital, des arrérages et intérêts des arrérages, de manière qu'il ne puisse y avoir confusion avec les ressources ordinaires de l'Association. Les arrérages dont il n'aura pas été fait emploi pendant un exercice seront reportés à l'exercice suivant, et au même compte.

ART. 4. — En cas de remboursement des valeurs constituant le capital, les sommes provenant de ce remboursement seront placées à nouveau, et les arrérages recevront la destination indiquée.

ART. 5. — Il ne peut être fait aucun prélèvement sur le capital.

En cas de dissolution de l'Association Technique Maritime, ce capital, ainsi que les arrérages non employés, seraient versés, conformément à l'article 12 ⁽³⁾ des Statuts, et aux intentions du donateur, à la Société des Ingénieurs civils de France.

ART. 6. — Les encouragements ci-dessus visés sont attribués par le Bureau, sans périodicité fixe, quand il les jugera utiles, et sous la forme qu'il choisira, dans les limites où l'accumulation des arrérages le permettra. Toutefois le Bureau pourra décider, pour parfaire la somme nécessaire, que les ressources ordinaires de l'Association feront à la Fondation Canet une avance, laquelle sera remboursée sur les plus prochaines recottes de cette Fondation.

⁽¹⁾ Dans les statuts actuels, le Conseil a remplacé le Bureau, qui figurait dans les statuts antérieurs.

⁽²⁾ Les mots *art des Constructions navales* doivent être entendus dans leur sens le plus large, et s'appliquent également aux progrès dans les machines, l'artillerie navale, etc.

⁽³⁾ Article 17 des statuts actuels.

ART. 7. — Les décisions relatives à l'attribution des encouragements ci-dessus visés devront être prises par le Bureau, cinq membres au moins étant présents. Ils ne peuvent être attribués à aucun des membres du Bureau.

DISPOSITIONS RELATIVES AUX BOURSES DE VOYAGE.

ART. 1. — Quand le Bureau de l'Association aura décidé que la situation de la Fondation Canet permet la création d'une bourse de voyage, dont il fixera l'importance, le Secrétaire général portera cette décision à la connaissance des membres de l'Association, et les invitera à faire connaître s'ils ont des candidats à proposer.

ART. 2. — Tout candidat à une bourse de voyage devra être présenté par un ou plusieurs membres de l'Association, déclarant qu'ils connaissent personnellement le candidat, et qu'ils sont d'avis qu'une bourse de voyage lui sera utile pour compléter son éducation technique.

ART. 3. — Le Bureau reste seul juge de l'opportunité d'allouer au candidat une bourse de voyage. et, s'il y a plusieurs candidats, du choix du titulaire.

ART. 4. — Le titulaire d'une bourse de voyage devra justifier de son séjour dans le pays qui lui sera indiqué pendant le temps prescrit, et devra adresser à l'Association, dans les trois mois qui suivront son retour, un mémoire sur les observations qu'il aura pu recueillir, tant sur des questions de son choix, que sur des points spéciaux indiqués par l'Association. Ce mémoire deviendra la propriété de l'Association, qui pourra l'insérer en tout ou partie dans son Bulletin; aucune partie ne pourra être publiée ailleurs sans son autorisation.

ANNÉE 1906.

CONSEIL.

<i>Président d'honneur :</i>	M. le Vice-Amiral THOMASSET.
<i>Président :</i>	M. BERTIN, Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve, Membre de l'Institut.
	M. CHASSELLOUP-LAUBAT (Marquis DE), Ingénieur civil.
	M. HUIN, Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve.
<i>Vice-présidents :</i>	M. LECLERT, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite.
	M. MENIER (HENRI), Ingénieur civil.
	M. NORMAND, Ingénieur-Constructeur.
	M. WIDMANN, Directeur général des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
	M. BARGUILLET, Mécanicien Inspecteur général de la Marine.
	M. BORDES (ADOLPHE), Armateur.
	M. CARIÉ, Ingénieur en chef des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
	M. CLOAREC, Directeur de la Ligue maritime Française.
	M. DOYÈRE, Ingénieur en chef du Génie maritime.
<i>Membres :</i>	M. FERRAND, Ingénieur en chef du Génie maritime.
	M. GUYOU, Capitaine de frégate, Membre de l'Institut.
	M. HART, Ingénieur du Chemin de fer du Nord.
	M. MENIER (GASTON), Ingénieur civil.
	M. PIAUD, Ingénieur du Génie maritime, en retraite.
	M. RUEFF, Directeur des Messageries fluviales de Cochinchine.
	M. TERRÉ, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite.
<i>Secrétaire général :</i>	M. HAUSER, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite.
<i>Secrétaire :</i>	M. TURGAN, Ingénieur civil des Constructions navales.
<i>Secrétaire-adjoint :</i>	M. TELLIER, Ingénieur-Constructeur.
<i>Trésorier :</i>	M. BORJA DE MOZOTA, Administrateur du Bureau Veritas.

LISTE DES MEMBRES DONATEURS.

- SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES ET CHANTIERS DE LA MÉDITERRANÉE, 1, rue Vignon, Paris, 8^e.
COMPAGNIE GÉNÉRALE TRANSATLANTIQUE, 6, rue Auber, Paris, 9^e.
MM. SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris, 8^e.
MM. DELAUNAY-BELLEVILLE ET C^{ie}, Chantiers de l'Hermitage, Saint-Denis (Seine).
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS ET CHANTIERS DE LA LOIRE, 11 *bis*, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.
SOCIÉTÉ ANONYME DES CHANTIERS ET ATELIERS DE LA GIRONDE, 63, rue de Provence, Paris, 9^e.
SOCIÉTÉ ANONYME DES ACIÉRIES ET FORGES DE FIRMINY, Firminy (Loire).
MM. GIO. ANSALDO ET C^{ie}, Gênes (Italie).
S. A. le Prince ROLAND BONAPARTE, 10, avenue d'Iéna, Paris, 16^e.
COMPAGNIE DES FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET DES CHEMINS DE FER, Saint-Chamond (Loire).
M. MENIER (HENRI), Ingénieur civil, 8, rue Alfred-de-Vigny, Paris, 8^e.
LA LIGUE MARITIME FRANÇAISE, 39, boulevard des Capucines, Paris, 2^e.
USINES BALTIQUES DE CONSTRUCTIONS NAVALES, 18, Kogevennaïa linia V.O., Saint-Pétersbourg (Russie).
M. J.-A. NORMAND, Ingénieur-Constructeur, 67, rue du Perrey, Le Havre.
-

LISTE DES MEMBRES D'HONNEUR.

- MM. THOMASSET, Vice-Amiral en retraite, 2, avenue Trudaine, Paris, 9^e.
WHITE (Sir William), K.C.B., L.L.D., Sc.D., F.R.S., Cedarcroft, Putney Heath, Londres, S.W. (Angleterre).
-

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES (1)

(8 mai 1906).

MM.

- AFANASSIEF**, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, 22, Bolchoï prospekt, Vassili Ostrov, Saint-Petersbourg (Russie).
- AFONASSIEF**, Inspecteur général des machines de la Marine Impériale Russe, 22, Bolchoï prospekt, Vassili Ostrov, Saint-Petersbourg (Russie).
- AGOULT (D')**, Ancien Officier de Marine, 19, boulevard Latour-Maubourg, Paris, 7^e.
- ALEXANDREANU**, Ingénieur en chef de la Marine Roumaine, Directeur de l'Arsenal, rue Michel-le-Brave, Galatz (Roumanie).
- ALLEST (D')**, Administrateur-délégué des Chantiers et Ateliers de Provence, Administrateur de la Compagnie Générale Transatlantique, 40, chemin de la Madrague, Marseille.
- ANSALDO (Gio) et C^{ie} (M. D.)**, Gènes (Italie).
- ARBEL (Pierre)**, Administrateur-délégué des Forges de Douai, 4, rue du Luxembourg, Paris, 6^e.
- ARCHINARD**, Ingénieur des Ateliers et Chantiers de la Loire, 41, quai d'Asnières, Ville-neuve-la-Garenne (Seine).
- ARMAN DE CAILLAVET**, Ingénieur naval, 12, avenue Hoche, Paris, 8^e.
- ARMINOT**, Inspecteur du Bureau Veritas, Nantes.
- ATHOUGIA (D')**, Ingénieur de la Marine Royale Portugaise, 13, rua de la Paz, Lisbonne (Portugal).
- AUDRA**, Courtier-juré d'Assurances, 44, rue Notre-Dame-des-Victoires, Paris, 2^e.
- AUROUS**, Ingénieur en chef du Génie maritime, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.
- AUSCHER**, Ingénieur en chef du Génie maritime, Sous-Directeur de la Direction centrale des Constructions navales, 85, rue du Ranelagh, Paris, 16^e.
- BACLÉ**, Ingénieur civil, 57, rue de Châteaudun, Paris, 9^e.
- BACOT**, Ancien Ingénieur du Génie maritime, 27, quai d'Orsay, Paris, 7^e.
- BAFFERT**, Ingénieur principal du Génie maritime, Toulon.
- BAL (Ed.)**, Administrateur-délégué du Bureau Veritas, 8, place de la Bourse, Paris, 2^e.
- BANKSON**, Ingénieur de la Marine des États-Unis, Navy Yard, Philadelphie (Penn.) (États-Unis).
- BARGUILLET**, Mécanicien Inspecteur général de la Marine, 74, boulevard Richard-Lenoir, Paris, 11^e.
- BARON**, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, Directeur des Chantiers et Ateliers de la Gironde, 50, rue du Tondu, Bordeaux.
- BASSETTI**, Ingénieur des Constructions navales, Ingénieur des Ateliers et Chantiers de la Loire, 110, boulevard Magenta, Paris, 10^e.

(1) M. D., membre donateur; M. H., membre d'honneur; S. P., souscripteur perpétuel.

MM.

- BEARD DU DÉZERT, Enseigne de vaisseau, 27, avenue Bugcaud, Paris, 16^e.
- BEAUSIRE, Ingénieur du Génie maritime, Professeur à l'École d'Application du Génie maritime, 140, boulevard Montparnasse, Paris, 14^e.
- BERLHE DE BERLHE, Ingénieur du Bureau Veritas, 8, place de la Bourse, Paris, 2^e.
- BERNARD, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 122, boulevard de Strasbourg, le Havre.
- BERNARDI, Directeur technique du Chantier naval Odero, Gênes (Italie).
- BERNHEIM, Ingénieur en chef du Génie maritime, 21, avenue Mac-Mahon, Paris, 17^e.
- BERRIER-FONTAINE, Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve, 16, boulevard de Strasbourg, Toulon.
- BERTIN, Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve, Membre de l'Institut, 8, rue Garancière, Paris, 6^e.
- BERTRAND, Chef du service administratif du Bureau Veritas, 15, rue Joffroy, Paris, 17^e.
- BESSON, Ingénieur en chef du Génie maritime, Escadre de la Méditerranée.
- BLOM, Ingénieur civil des Constructions navales, Directeur de l'Arsenal Royal, Horten (Norvège).
- BOCHET, Ingénieur en chef de la maison Sautter, Harlé et C^{ie}, 26, avenue Suffren, Paris, 15^e.
- BOISSEVAIN, Inspecteur du Bureau Veritas, 19, rue de la Darso, Marseille.
- BOKLEVSKY, Ancien Ingénieur en chef des Constructions navales de la Marine Impériale Russe, Doyen de l'Institut Polytechnique, Sosnovka, Saint-Petersbourg (Russie).
- BONAPARTE (S. A. le Prince Roland) (M. D.)**, 10, avenue d'Iéna, Paris, 16^e.
- BONNARDEL (I.), Administrateur de la Compagnie de Navigation du Rhône, 44, avenue des Champs-Élysées, Paris, 8^e.
- BONNET (A.), Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 59, rue Tourneville, le Havre.
- BORDES (Adolphe), Armateur, 11, boulevard Malesherbes, Paris, 8^e.
- BORJA DE MOZOTA, Administrateur du Bureau Veritas, 8, place de la Bourse, Paris, 2^e.
- BOSSIÈRE (Henry), Courtier maritime, 40, rue d'Anjou, Paris, 8^e.
- BOULVIN, Ingénieur principal de la Marine Belge, Professeur à l'Université, 18, boulevard du Fort, Gand (Belgique).
- BOURDON (Édouard), Ingénieur-Constructeur, 27, avenue de l'Alma, Paris, 8^e.
- BOYER, Lieutenant de vaisseau en retraite, Agent principal de la Compagnie Générale Transatlantique, Le Havre.
- BRACE, Ingénieur-Constructeur, 25, Water street, Liverpool (Angleterre).
- BRASSEY (Lord) K. C. B., 24, Park lane, Londres, W. (Angleterre).
- BRETEL, Officier de Marine en retraite, Inspecteur technique de la Compagnie d'Assurances La Foncière, et du Comptoir d'Escompte, 48, rue Notre-Dame-des-Victoires, Paris, 2^e.
- BRICARD (H.), Directeur de l'exploitation des Forges et Chantiers de la Méditerranée, le Havre.
- BRILLIÉ, Ingénieur du Génie maritime, Ingénieur des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët), boulevard de l'Océan, Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
- BRIX, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, en retraite, Directeur technique des Ateliers mécaniques de la Société Franco-Russe, 17, Prajskha. Saint-Petersbourg (Russie).
- BROSSER, Ingénieur en chef du Génie maritime, Cherbourg.

MM.

- BRUNEAU, Ingénieur du Génie maritime, Rochefort.
- BUSLEY, Professeur et Conseiller intime de Régence, 2, Kronprinz ufer, Berlin, N. W. (Allemagne).
- CABART-DANNEVILLE, Sénateur de la Manche, 143, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.
- CABROL (PH. DE), Administrateur-délégué de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, 11 bis, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.
- CAL Y DIAZ (Antonio), Lieutenant de vaisseau de la Marine Espagnole, Professeur à l'École navale, Le Ferrol (Espagne).
- CAL Y DIAZ (Alfredo), Lieutenant de vaisseau de la Marine Espagnole, Le Ferrol (Espagne).
- CANET, Directeur du service de l'artillerie de MM. Schneider et C^{ie}, Ancien Président de la Société des Ingénieurs civils de France (S. P.), 87, avenue Henri-Martin, Paris, 16^e.
- CAPUS, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, la Seyne (Var).
- CARALP, Mécanicien-Inspecteur de la Marine, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.
- CARIÉ, Ingénieur en chef des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, rue Vignon, Paris, 8^e.
- CARVALHO DANN E LORENA (DE), Ingénieur de la Marine Royale Portugaise, Arsenal de Lisbonne (Portugal).
- CASTELNAU, Ingénieur principal du Génie maritime, Toulon.
- CAZES, Ingénieur, 62, rue Caumartin, Paris, 9^e.
- CHACE (Mason Smith), 31, Water street, Dorchester, Boston (États-Unis).
- CHALIGNY, Ingénieur-Constructeur, 54, rue Philippe-de-Girard, Paris, 18^e.
- CHANU, Courtier-Juré d'Assurances, 34, rue Vivienne, Paris, 2^e.
- CHAPMAN, Ingénieur civil, 10, rue Laffitte, Paris, 9^e.
- CHARDONNET (Comte DE), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue Cambon, Paris, 1^{er}.
- CHARLES-ROUX, Ancien Député, Président de la Société des Chantiers et Ateliers de Provence, 12, rue Pierre-Charron, Paris, 8^e.
- CHASSELoup-LAUBAT (Marquis DE), Ingénieur civil (S. P.), 51, avenue Montaigne, Paris, 8^e.
- CHAUDOYE, Directeur général de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, 11 bis, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.
- CHEVREUX, Ingénieur civil, 11, boulevard d'Argenson, Neuilly-sur-Seine Seine).
- CHORON, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite, 112, boulevard de Courcelles, Paris, 17^e.
- CHORON, Directeur du Génie maritime, Cherbourg.
- CLAPARÈDE (Cl.), Ingénieur-Constructeur, Argenteuil (Seine-et-Oise).
- CLAPARÈDE (Fr.), Ingénieur-Constructeur, Argenteuil (Seine et-Oise).
- CLAUZEL, Directeur du Génie maritime, Rochefort.
- CLEEF (J.-E. VAN), Ancien Ingénieur de la Marine Néerlandaise, Ingénieur civil des Constructions navales, Gorinchem (Hollande).
- CLERMONT (DE), Administrateur de la Compagnie des Chargeurs Réunis, 11, rue Barbette, Paris, 3^e.
- CLOVREC (Paul), Directeur de la Ligue Maritime Française, 39, boulevard des Capucines, Paris, 2^e.
- COLINET, Ingénieur civil des Constructions navales, Ingénieur des Chantiers et Ateliers de la Gironde, 33, rue Boudet, Bordeaux.

MM.

COMERMA Y BATALLA, Général du Génie maritime Espagnol, le Ferrol (Espagne).

COMPAGNIE DES FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET DES CHEMINS DE FER
(M. D.), Saint-Chamond (Loire).

COMPAGNIE GÉNÉRALE TRANSATLANTIQUE (M. D.), 6, rue Auber, Paris, 9^e.

COMPÈRE, Ingénieur-Directeur de l'Association Parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, 66, rue de Rome, Paris, 8^e.

COP, Ingénieur de la Marine Néerlandaise, 29, Orange plantage, Delft (Hollande).

COURVILLE (DE), Ingénieur en chef du Génie maritime, Professeur à l'École supérieure de Marine, 44, rue du Cherche-Midi, Paris, 6^e.

COVILLE, Ingénieur en chef des Chantiers de Graville, 7, rue Saint-Michel, le Havre.

CRETS, Ingénieur en chef, Directeur du chantier Cockerill, Hoboken (Belgique).

CROLL (D.), Directeur des Chantiers de Fijenoord, 64, Leuvehaven, Rotterdam (Hollande).

CRONEAU, Ingénieur en chef du Génie maritime, Brest.

DANIS, Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique, 97, rue de Rennes, Paris, 6^e.

DECAZES (DUC), 19, rue de Constantine, Paris, 7^e.

DECOUT-LACOUR, Ingénieur-Constructeur, la Rochelle (Charente-Inférieure).

DEGOIX, Assureur maritime, 33, rue Vivienne, Paris, 2^e.

DELAITRE, Ingénieur du Génie maritime, en retraite, 5, rue de La Condamine, Paris, 17^e.

DELAPOSTE, Ingénieur de la maison Bréguet, 7, rue Sainte-Beuve, Paris, 6^e.

DELAUNAY-BELLEVILLE et C^{ie} (M. D.), Chantiers de l'Hermitage, Saint-Denis (Seine).

DELAUNAY-BELLEVILLE, Ingénieur-Constructeur, Directeur de l'exploitation de l'Exposition Universelle de 1900, 17, boulevard Richard-Wallace, Neuilly-sur-Seine (Seine).

DELAUNAY-BELLEVILLE (Robert), Ingénieur des Arts et Manufactures, 17, boulevard Richard-Wallace, Neuilly-sur-Seine (Seine).

DEMONGEOT, Ingénieur de la Maison Grille et C^{ie}, 15, avenue de La Bourdonnais, Paris, 7^e.

DENNY (Arch^d), Constructeur, Leven Shipyard, Dumbarton (Angleterre).

DEUTSCH DE LA MEURTHE (Henry), Industriel, 4, place des États-Unis, Paris, 16^e.

DIBOS, Ingénieur de la Compagnie d'Assurances maritimes la Foncière, 48, rue Notre-Dame-des-Victoires, Paris, 2^e.

DOLGOROUKOW, Inspecteur des Constructions navales de la Marine Impériale Russe, Ministère de la Marine, Saint-Petersbourg (Russie).

DORÉMIEUX fils, Maître de forges, Fabricant de chaînes, Saint-Amand (Nord).

DOYÈRE, Ingénieur en chef du Génie maritime, 10, rue Amiral Courbet, Cherbourg.

DREYFUS (J.), Ingénieur, 189, quai Valmy, Paris, 10^e.

DREYFUS (M.), Administrateur-délégué de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, 11 bis, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.

DZIEWIECKI (Stéphane), Ingénieur, 5, rue Gustave-Zédé, Paris, 16^e.

DUBOUL, Ingénieur, Fabricant de cordages, 7, rue Suffren, Marseille.

DUCHESNE, Ingénieur, 5, route de Montesson, le Vésinet (Seine-et-Oise).

DUDEBOUT, Directeur du Génie maritime, Directeur de la Direction centrale des Constructions navales, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.

DUFLOU, Ingénieur, Ile des Apothicaires, 8, rue Lapouchinskaïa, Saint-Petersbourg (Russie).

DUGÉ DE BERNONVILLE, Ingénieur du Génie maritime, Ingénieur en chef des Ateliers Niclausse, 7, rue Théodore-de-Banville, Paris, 17^e.

MM.

- DUMINY, Ingénieur en chef de la Compagnie des Chargeurs Réunis, 23, rue de Nanterre, Asnières (Seine).
- DUNN (James), Ancien Chief Constructor de l'Amirauté Anglaise, Vice-Président de l'Institution of Naval Architects, Directeur de Vickers Sons et Maxim, 28, Victoria street, Londres, S. W. (Angleterre).
- DUPRÉ, Directeur du Génie maritime, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.
- DURAND (W.-F.), Professeur de machines marines, Leland Stanford University, Stanford (C.) (États-Unis).
- DURAND-VIEL, Enseigne de vaisseau, Saïgon.
- DURIS, Capitaine au long cours, Saint-Paul d'Eyjeaux (Haute-Loire).
- DURSTON (Sir John), Contre-Amiral, Ingénieur en chef de l'Amirauté Anglaise, Admiralty, Whitehall, Londres (Angleterre).
- ELGAR (Francis), Vice-Président de l'Institution of Naval Architects (S. P.), 34, Leadenhall street, Londres, E. C. (Angleterre).
- EMANAUD, Ingénieur de la Société du générateur Pluto, 99, rue Monge, Paris, 5^e.
- ERMAKOFF, Ingénieur en chef de la Compagnie Russe de navigation à vapeur du Danube, Odessa (Russie).
- ESTIER (Henri), Armateur, 3, rue Vignon, Paris, 8^e.
- EVERS, Ingénieur civil, 118, rue Lesueur, le Havre.
- FARAMOND DE LAFAJOLE (DE), Ingénieur-conseil mécanicien, 54, avenue de Breteuil, Paris, 7^e.
- FARAMOND DE LAFAJOLE (DE), Lieutenant de vaisseau, Attaché naval à l'Ambassade de France, Washington (États-Unis).
- FARCOT (Ambroise), Ingénieur-Constructeur, 49, rue Greffulke, Levallois-Perret (Seine).
- FAUTREL (G.), Armateur, 14, rue d'Enghien, Paris, 10^e.
- FENAILLE, Armateur, 11, rue du Conservatoire, Paris, 9^e.
- FERRAND, Ingénieur en chef du Génie maritime, 48, rue de Grenelle, Paris, 7^e.
- FERRANTI (S.-Z. DE), Ingénieur électricien et mécanicien, 31, Lyndhurst Road, Hampstead, Londres (Angleterre).
- FLEURET, Ingénieur civil, 41, avenue Wagram, Paris, 17^e.
- FLICHE, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, 123, rue de Lille, Paris, 7^e.
- FOREST, Ingénieur-Constructeur, 20 bis, rue Bourgelet, Alfort (Seine).
- FOUCHÉ, Ingénieur-Constructeur, Prairie-au-Duc, Nantes.
- FOY (H.), Ingénieur civil des Constructions navales, 85, faubourg Saint-Honoré, Paris, 8^e.
- FRANCOU, Administrateur délégué de la Société des Laminoirs à tubes et Fonderies d'Hautmont, Hautmont (Nord).
- FROMNOT, Ingénieur du Génie maritime, Directeur des Chantiers et Ateliers de Normandie, Grand-Quevilly (Seine-Inférieure).
- GALOPPE, Armateur, 7, rue Théodore-de-Banville, Paris, 17^e.
- GARCIA DE ANGULO, Général du Génie maritime Espagnol, 10, Conde de Xiquena, Madrid (Espagne).
- GARELLI (Fabio), Ingénieur des Chantiers de Sestri-Ponente, villa Doria, Pegli (Province de Gènes) (Italie).
- GARNIER, Directeur du Génie maritime, Toulon.

MM.

- GAUTHIER-VILLARS** (Albert), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Imprimeur-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins, Paris, 6^e.
- GAVRILOFF**, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, Vassili Ostrov, 2^e ligne, n^o 37, Saint-Petersbourg (Russie).
- GELDER** (W.-H.-M. DE), Ingénieur en chef des Chantiers Smit et Zoon, Kinderdijk (Hollande).
- GELDER** (DE), Directeur de la Rotterdamsche Droogdok Maatschappij, Rotterdam (Hollande).
- GIACOMMUZZI** (Virgilio), Ingénieur des Chantiers Odero, Sestri-Ponente (Italie).
- GLANDAZ**, Ancien Vice-Président du Yacht-Club, 87, rue Ampère, Paris, 17^e.
- GODARD**, Ingénieur en chef du Génie maritime, Directeur de la Société des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët), 15, rue d'Édimbourg, Paris, 8^e.
- GODET**, Directeur de la Corderie de la Seine, le Havre.
- GODINET** (A.), Ingénieur civil, 18, quai Tilsitt, Lyon.
- GOULAÏEFF**, Inspecteur des Constructions navales de la Marine Impériale Russe, forte-resse Saint-Pierre et Saint-Paul, bâtiment des officiers, app. 2, Saint-Petersbourg (Russie).
- GOVARE**, Avocat à la Cour d'Appel, Docteur en droit, 3, rue de Stockholm, Paris, 8^e.
- GRAVELL**, Représentant du Bureau Veritas, 155, Fenchurch street, Londres (Angleterre).
- GREINER**, Directeur général de la Société John Cockerill, Seraing (Belgique).
- GRILLE**, Ingénieur civil, 67, rue de la Victoire, Paris, 9^e.
- GROLOUS**, Ingénieur en chef de la Compagnie Générale Transatlantique, 6, rue Auber, Paris, 9^e.
- GUÉRARD**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 8, rue Picot, Paris, 10^e.
- GUÉRIN DE LITREAU**, Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique, 6, rue Auber, Paris, 9^e.
- GUGLIELMINO** (Pietro), Ingénieur du Bureau Veritas, 8, Salita piano di Rocca, Gênes (Italie).
- GUICHARD**, Directeur des Ateliers et Chantiers de la Loire, Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
- GUILLOUX**, Ancien Ingénieur du Génie maritime, 83, rue Demours, Paris, 17^e.
- GUYOU**, Capitaine de frégate, Membre de l'Institut, 13, rue de l'Université, Paris, 7^e.
- HALFON**, Vice-Président de la Compagnie Générale Transatlantique, 6, rue Auber, Paris, 9^e.
- HARADA**, Ingénieur à l'Arsenal de Saseho (Japon).
- HART** (G.), Ingénieur du Chemin de fer du Nord, 99, rue de La Fayette, Paris, 10^e.
- HATT**, Ingénieur hydrographe en chef, en retraite, Membre de l'Institut, 31, rue Madame, Paris, 6^e.
- HAUSER**, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, 4, rue Meissonier, Paris, 17^e.
- HAY**, Ingénieur de la Koninklijke Maatschappij de Schelde, Vlissingen (Hollande).
- HERMITE**, Ancien Ingénieur du Génie maritime, 5, rue Clément-Marot, Paris, 8^e.
- HERSENT** (Georges), Ingénieur-Constructeur, 60, rue de Londres, Paris, 8^e.
- HERSENT** (Jean), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, rue de Londres, Paris, 8^e.
- HEURTEL** (F.), Capitaine de frégate de réserve, 91, avenue Kléber, Paris, 16^e.
- HICQUET**, Directeur commercial de la Société Métallurgique de Senelle-Maubouge, Maubouge (Nord).
- HOCHGESAND** (J.), Directeur des établissements Henry, 117, boulevard de la Villette, Paris, 10^e.
- HOUEÏ**, Capitaine au long cours, Secrétaire technique du Comité des Armateurs de France, 16, rue Chauveau-Lagarde, Paris, 8^e.

MM.

- HOZIER** (Sir Henry M.), Colonel, Secrétaire du Lloyd, Royal Exchange, Londres. E. C. (Angleterre).
- HUART** (D'), Administrateur-délégué de la Société Métallurgique de Senelle-Maubeuge, Longwy (Meurthe-et-Moselle).
- HUBAC**, Ingénieur de la Société des Générateurs Belleville, 7, rue du Jambon, Saint-Denis (Seine).
- HUET**, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, 5, rue Bara, Paris, 6°.
- HUGOT**, Membre de la Chambre de Commerce de Paris, 4, rue de la Renaissance, Paris, 8°.
- HUIN**, Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve, Directeur général de la Société des Chantiers et Ateliers de la Gironde, 14, rue du Cherche-Midi, Paris, 6°.
- IMBERT**, Ingénieur civil, 19, rue des Minimes, Marseille.
- ISAÏSON**, Inspecteur du Lloyd's Register, 46, Skeppsbron, Stockholm (Suède).
- ITCHIO** (Prince), Capitaine de frégate de la Marine Japonaise, Attaché naval à la Légation du Japon, 1, rue Magellan, Paris, 8°.
- JANET**, Ancien Ingénieur du Génie maritime, 282, rue Saint-Jacques, Paris, 5°.
- JAQUES**, Membre du Conseil de la Société Américaine des Naval Architects, Little Boar's Head (New Hampshire) (États-Unis).
- JOBERT**, Chimiste, 155, boulevard Malesherbes, Paris, 17°.
- JOUËT-PASTRÉ**, Président du Conseil d'administration des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, rue Vignon, Paris, 8°.
- JULLIEN** (Marius), 35, boulevard de la Major, Marseille (Bouches-du-Rhône).
- KAUFFER**, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 40, avenue Hoche, La Seyne (Var).
- KIRKALDY**, 101, Leadenhall Street, Londres, E. C. (Angleterre).
- KOSSURA**, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, 20, rue Mitninska, app. 15, Saint-Petersbourg (Russie).
- KRAFT** (fils), Ingénieur des Chantiers Cockerill, Seraing (Belgique).
- KRILOFF** (A.), Professeur à l'Académie navale de Saint-Petersbourg, Capitaine de frégate de la Marine Impériale Russe, Zwierinskaïa, n° 6/8, Saint-Petersbourg (Russie).
- LAFORCADE** (DE), Ingénieur civil des Constructions navales, Établissements Turgan, Levallois-Perret (Seine).
- LAGANE**, Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, La Seyne (Var).
- LAMBERT**, Ingénieur civil, 26, rue Vacquerie, Sainte-Adresse, le Havre.
- LAMBERT** (Comte DE), 94, rue du Ranelagh, Paris, 16°.
- LANGLOIS**, Mécanicien en chef de la Marine, en retraite, Ingénieur en chef de la Compagnie Cyprien Fabre, 81, rue Dragon, Marseille.
- LANNES**, Directeur des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët), Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
- LANZA**, Ingénieur expert du Bureau Veritas, 3, piazza Giuseppe Micheli, Livourne (Italie).
- LAPONCHE**, Ingénieur, Maison Biétrix, Leflaive et C^{ie}, Saint-Étienne.
- LAUBEUF**, Ingénieur en chef du Génie maritime, Cherbourg.
- LAVEISSIÈRE** (Louis), Industriel, 20, rue de l'Arcade, Paris, 8°.
- LE BLANC**, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 16, impasse Dagobert, le Havre.
- LECLERT**, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, Vice-Président de la Com-

MM.

pagnie des Mines, Fonderies et Forges d'Alais, Administrateur de la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire, 42, avenue Wagram, Paris, 8^e.

LECOINTE, Ingénieur en chef honoraire de la Marine Belge, 102, rue de Stassart, Bruxelles (Belgique).

LEDIEU (Pierre), Ingénieur civil des Constructions navales, 98, rue de Rennes, Paris, 6^e.

LEDoux, Ingénieur en chef au Corps des Mines, 250, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.

LEFEBVRE (Georges), Membre de la Chambre de Commerce de Paris, 27, rue de La Rochefoucauld, Paris, 9^e.

LEFLAIVE, Ancien Ingénieur du Génie maritime, La Chaléassière, Saint-Étienne (Loire).

LE GO, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, La Seyne (Var).

LEGRU, Ingénieur civil, 4, rue Murillo, Paris, 8^e.

LELONG (R.), Ingénieur principal du Génie maritime, 20, rue de Tournon, Paris, 6^e.

LEMAIRE, Inspecteur général du Génie maritime, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.

LE MARCHAND, Ingénieur-Constructeur, Petit-Quevilly, Rouen.

LE SAUVAGE, Directeur des Anciens Établissements Satre, 50, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.

LESPÈS (A.), Directeur des Chantiers et Ateliers de Bacalan, Bordeaux.

LESSNIKOFF, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, Cronstadt (Russie).

LESTONNAT, Ancien Officier de paquebot, Publiciste maritime, 9, rue Bergère, Paris, 9^e.

LE VALLOIS, Ingénieur civil, Luxeuil (Haute-Saône).

LEVAVASSEUR, Ingénieur-Constructeur, rue des Bas-Rogers, Puteaux (Seine).

LEVERD, Courtier juré d'assurances, 11, place de la Bourse, Paris, 2^e.

LHOMME, Directeur du Génie maritime, Chef de la Section technique des Constructions navales, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.

LIGUE MARITIME FRANÇAISE (M. D.), 39, boulevard des Capucines, Paris, 2^e.

LIKHTCHOF, Vice-Amiral de la Marine Impériale Russe, 4, rue Logelbach, Paris, 17^e.

LODER, Directeur du Matériel de la Marine Néerlandaise, Laen van Meerdervort, La Haye (Hollande).

LOIR, Lieutenant de vaisseau, en retraite, 50, avenue Wagram, Paris, 17^e.

MADAMET, Directeur de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, Grand Chemin de Toulon, Marseille.

MALLARMÉ, Vice-Amiral, Président du Comité technique, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.

MARNEC, Ingénieur principal du Génie maritime, Toulon.

MARTIN-ZÉDÉ (Georges), Avocat, 19, boulevard de Courcelles, Paris, 8^e.

MARTY, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, 2, square du Croisic, Paris, 15^e.

MASSALSKI, Ingénieur maritime, 9, boulevard Malesherbes, Paris, 8^e.

MAUGAS, Ingénieur en chef du Génie maritime, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.

MAUGRAS, Ingénieur civil, 7, rue Le Chatelier, Paris, 17^e.

MAUPEOU D'ABLEIGES (Comte DE), Directeur du Génie maritime, 1, rue Pasteur, Lorient.

MAW, Ingénieur, Directeur de l'Engineering, 35 et 36, Bedford street, Strand, Londres (Angleterre).

MAYER (Alphonse), Assureur maritime, 7, avenue de Friedland, Paris, 8^e.

MEERTEN (H. VAN), Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite, Buitenzorg, Java (Indes Orientales Néerlandaises).

MELI, Ingénieur naval et mécanicien, Représentant de la Société des Générateurs Belleville, 5, via Principe Umberto, Milan (Italie).

MM.

- MENIER** (Gaston), Ingénieur civil, 56, rue de Châteaudun, Paris, 9^e.
MENIER (Georges), 61, rue de Monceau, Paris, 8^e.
MENIER (Henri), Ingénieur civil (M. D.), 8, rue Alfred-de-Vigny, Paris, 8^e.
MERVEILLEUX DU VIGNAUX, Ingénieur, 7, rue Las Cases, Paris, 7^e.
MESNIER, Armateur, 153, boulevard Hausmann, Paris, 8^e.
MESSMER, Ingénieur, 12, rue Fontaine, Paris, 9^e.
MÉTAYER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur de Métallurgie à l'École Centrale, 2, rue Rembrandt, Paris, 8^e.
MEULEMEESTER (DE), Ingénieur, 62, rue de Neuchâtel, Bruxelles (Belgique).
MICHELI (P.), Ingénieur, 1, via Sottoripa, piano nobile, Gênes (Italie).
MILLAR, Directeur de Gourley Brothers et C^e, Engineers and Shipbuilders, Dundee (Angleterre).
MOLAS, Ingénieur des Constructions navales, 94, rue Saint-Lazare, Paris, 8^e.
MOLINAS, Directeur du Nuevo Vulcano, 2, place Medina-Celi, Barcelone (Espagne).
MOLLER, Ingénieur de la maison de Freitas et C^e, Hambourg (Allemagne).
S. A. S. Monseigneur le Prince de Monaco, Monaco.
MORGAN (W.-G.), Directeur technique du Chantier naval Anversois, Anvers (Belgique).
MORITZ, Ancien Ingénieur du Génie maritime (S. P.), Ourseamps (Oise).
MÖRNER (Comte H.-A.), Directeur de la Marine Royale Suédoise, Carlskrona (Suède).
MORNET (Ch.), Lieutenant de vaisseau, à bord du *Gueydon*, Division du Pacifique.
MORS (Louis), Industriel, 48, rue du Théâtre, Paris, 15^e.
NERVO (Léon DE), Ingénieur des Arts et Manufactures, 73, rue de Courcelles, Paris, 8^e.
NICLAUSSE (A.), de la Société J. et A. Niclausse, Société des générateurs inexplosibles, 24, rue des Ardennes, Paris, 19^e.
NICLAUSSE (J.), de la Société J. et A. Niclausse, Société des Générateurs inexplosibles, 24, rue des Ardennes, Paris, 19^e.
NIELSEN, Directeur général des Chantiers et Ateliers Burmeister et Wain, Copenhague (Danemark).
NORMAND (J.-A.), Ingénieur-Constructeur (M. D.), 67, rue du Perrey, e Havre.
NORMAND fils, Ingénieur-Constructeur, 67, rue du Perrey, le Havre.
ODAGIRI, Ingénieur-Lieutenant de la Marine Japonaise, 733, Gotanyama Shinagumavachi, Tokio (Japon).
ORLANDO, Ingénieur, Livourne (Italie).
PAINVIN, Ingénieur des Ateliers et Chantiers de la Loire, 17, rue Royale, Nantes.
PARSONS, Directeur de la Manganese Bronze and Brass Company, 49 à 51, Saint-George House, 8, Eastcheap, Londres, E. C. (Angleterre).
PATRY, Ingénieur du Bureau Veritas, 8, place de la Bourse, Paris, 2^e.
PELLECHIA, Ingénieur naval, Officier du Génie naval Italien, 24, rue de Saint-Quentin, Paris, 10^e.
PEREIRA DE MATTOS, Lieutenant de vaisseau de la Marine Portugaise, Praça Luis de Camoëns, Lisbonne (Portugal).
PETITHOMME, Ingénieur principal du Génie maritime, Ministère de la Marine, Paris, 8^e.
PETROFF, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, 60, Thornton avenue, Streatham hill, Londres, S.W. (Angleterre).
PIAUD, Ingénieur du Génie maritime, en retraite, 17, rue de Chartres, Neuilly-sur-Seine (Seine).

MM.

- PIERI (Comte Pompeo), 70, avenue d'Iéna, Paris, 16^e.
- PIERRARD, Ingénieur en chef de la Marine Belge, Directeur des Constructions maritimes, Ostende (Belgique).
- PIHLGREN, Directeur de l'Industrie au Ministère des Finances, 66, Graf Thuregatan, Stockholm (Suède).
- PILLÉ, Ingénieur-Constructeur, 29, rue de Châteaudun, Paris, 9^e.
- PINCZON, Ingénieur en chef de la Compagnie des Chargeurs-Réunis, 99, boulevard de Strasbourg, le Havre.
- PINOT (René), Secrétaire général de l'Association des Constructeurs de navires et de machines marines, 63, boulevard Haussmann, Paris, 8^e.
- PLUYETTE, Ingénieur en chef du Génie maritime, 3, rue Fondaudège, Bordeaux.
- POLLARD, Directeur du Génie maritime, Indret (Loire-Inférieure).
- PONCHEZ, Ingénieur de la Société des Générateurs Bellevillo, Saint-Denis (Seine).
- PRESSEQ (L.), Ancien Ingénieur du Génie maritime, Ingénieur des Chantiers et Ateliers de la Gironde, la Bastide, Bordeaux.
- QUELLENEC, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 9, rue Charras, Paris, 9^e.
- QUERNEL, Lieutenant de Vaisseau, 58, avenue de Poissy, Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).
- QUINETTE DE ROCHEMONT, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 18, rue Marignan, Paris, 8^e.
- RADLOFF, Directeur de la Société anonyme des Usines Franco-Russes, 17, Prajsbka, Saint-Petersbourg (Russie).
- RANCELANT, Ingénieur civil, avenue Morillon, Choisy-le-Roi (Seine).
- RATEAU, Ingénieur au corps des Mines, 7, rue Bayard, Paris, 8^e.
- RAUCHFUSS, Directeur des Chantiers Germania, Gaarden près Kiel (Allemagne).
- RAVIER (S.-L.), Ancien Ingénieur du Génie maritime, 6, rue de Berne, Paris, 8^e.
- RAYMOND, Ancien Ingénieur du Génie maritime, Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries Maritimes, la Ciotat (Bouches-du-Rhône).
- RÉCOPÉ (Comte), Ancien Ingénieur du Génie maritime, 11, avenue d'Iéna, Paris, 16^e.
- REED (Sir Edward-J.), K. C. B., F. R. S., Broadway Chambers, Westminster, Londres, S.-W. (Angleterre).
- RENAULT (L.), Ingénieur-Constructeur (S. P.), 13, rue du Point-du-Jour, Billancourt (Seine).
- RENAULT (H.-L.), Ingénieur principal du Génie maritime, le Havre.
- REVOL, Ingénieur du Génie maritime, Attaché à la Direction de MM. Schneider et C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris, 8^e.
- RIMBAUD, Ancien Ingénieur du Génie maritime, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, villa Bellevue, Tamaris-sur-Mer (Var).
- RISBEC, Ingénieur du Génie maritime, en retraite, Directeur des Ateliers des Messageries Maritimes, la Ciotat (Bouches-du-Rhône).
- ROBERTSON, Inspecteur du Bureau Veritas, 29, Waterloo street, Glasgow (Angleterre).
- ROMAZOTTI, Directeur du Génie maritime, Guéigny (Nièvre).
- RONDET-SAINT, Ingénieur-Constructeur, 86, avenue Malakoff, Paris, 16^e.
- ROTHSCHILD (Baron Edouard de), Propriétaire de yachts, 2, rue Saint-Florentin, Paris, 1^{re}.
- RUDLOFF, Conseiller privé maritime et Directeur des Constructions navales, 16, Marburgerstrasse, Berlin, W. (Allemagne).
- RUEFF, Administrateur-délégué des Messageries fluviales de Cochinchine (S. P.), 43, rue Taillout, Paris, 9^e.

MM.

- RUSO, Ingénieur du Génie naval Italien, Ministère de la Marine, Rome (Italie).
- SABATHIER, Ingénieur du Bureau Veritas, 8, rue Bossuet, le Havre.
- SAGLIO, Directeur du Génie maritime, en retraite, 5, rue Théodore de Banville, Paris, 7^e.
- SAINT-AMAND (DUFLOS DE), Inspecteur du Service maritime au Chemin de fer du Nord, 142, boulevard Pereire, Paris, 17^e.
- SAINT-PAUL, des Usines Skoda, 38, rue de Châteaudun, Paris, 9^e.
- SALVERT-BELLENAYE (DUTOUR DE), Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite, Allignat (Ain).
- SAUTTER, Directeur de la Maison Sautter, Harlé et C^{ie}, 26, avenue de Suffren, Paris, 15^e.
- SCHIL, Ingénieur civil, Expert du Bureau Veritas, 17, rue Montesquieu, Nancy.
- SCHMIDT (Michel), Directeur des Chantiers de MM. Schneider et C^{ie}, Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire).
- SCHNEIDER et C^{ie} (M. D.)**, 42, rue d'Anjou, Paris, 8^e.
- SCHNEIDER (E.), Maître de Forges, 42, rue d'Anjou, Paris, 8^e.
- SCIAMA, Directeur de la Maison Bréguet, 19, rue Didot, Paris, 14^e.
- SCRIBANTI, Ingénieur du Génie naval Italien, Professeur à l'École navale supérieure, 19, via Assarotti, Gênes (Italie).
- SEBERT (Général), Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier, Paris, 17^e.
- SERVE, Manufacturier, 335, chemin de la Corniche, Marseille.
- SEYLER (G.), Architecte naval, chemin de Halage, Le Perreux (Seine).
- SIEBENS, Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, 74, Westeinde, Voorburg, près La Haye (Hollande).
- SIGAUDY, Ingénieur en chef des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 2, rue Guy-de-Maupassant, le Havre.
- SKODA (Chevalier Von), des usines Skoda (S. P.), Pilsen (Autriche-Hongrie).
- SMITH (Roy-C.), Capitaine de frégate, Attaché naval de l'Ambassade des États-Unis, 18, avenue Kléber, Paris, 16^e.
- SMITH (Stuart-Farrar), Ingénieur de la Marine des États-Unis, Arsenal de Cavite (Iles Philippines).
- SMULDERS (H.), Membre de la Firme A.-F. Smulders, 70, Haringliet, Rotterdam (Hollande).
- SOCIÉTÉ ANONYME DES ACIÉRIES ET FORGES DE FIRMINY (M. D.)**, Firminy (Loire).
- SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS ET CHANTIERS DE LA LOIRE (M. D.)**, 11 bis, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.
- SOCIÉTÉ ANONYME DES CHANTIERS ET ATELIERS DE LA GIRONDE (M. D.)**, 62, rue de Provence, Paris, 9^e.
- SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES ET CHANTIERS DE LA MÉDITERRANÉE (M. D.)**, 1, rue Vignon, Paris, 8^e.
- SOLIANI (NABOR), Directeur des Chantiers Ansaldo, Gênes (Italie).
- SOSNOVSKI, Ingénieur civil, Administrateur-Directeur de la Société de Laval, 48, rue de la Victoire, Paris, 9^e.
- STAFFER DE DUCLOS, Ingénieur-Constructeur (S. P.), 42, boulevard Maritime, Marseille.
- TELLIER (A.), de la Maison Tellier fils et Gérard, 52, quai de la Rapée, Paris, 12^e.
- TENNYSON, Ingénieur de la Marine, Impériale Russe, care of Vickers Sons and Maxim, Barrow-in-Furness (Angleterre).

MM.

- TERRÉ**, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite (S. P.), 139, boulevard Haussmann, Paris, 8^e.
- THIBAUDIER** (E.), Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve, 6, cité Vaneau, Paris, 7^e.
- THIRION**, Ingénieur-Constructeur, 160, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.
- THOMASSET**, Vice-Amiral en retraite (M. H.), 2, avenue Trudaine, Paris, 9^e.
- THUAT**, Ingénieur-Constructeur, 103, rue de Flandre, Paris, 19^e.
- TITOFF**, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, 47, rue Sadovaya, Saint-Pétersbourg (Russie).
- TOUSSAINT**, Ancien Chef du Service des Ateliers de construction de MM. Schneider et C^{ie}, 7, boulevard de Broesses, Dijon.
- TURBOT**, Fabricant de chaînes, Anzin (Nord).
- TURC**, Lieutenant de vaisseau, à bord du *D'Assas*, Escadre de l'Extrême-Orient.
- TURGAN** (L.), Ingénieur civil des Constructions navales, Ingénieur-Constructeur, 7, place Malesherbes, Paris, 17^e.
- USINES BALTIQUES DE CONSTRUCTIONS NAVALES** (M. D.), 18, Kogevennaïa linia, V. O., Saint-Pétersbourg (Russie).
- VASCONCELLOS** (J. DE), Ingénieur des Constructions navales, 20, rue Francisco de Paulo, Lisbonne (Portugal).
- VASLIN**, (H.), Ingénieur civil, 5, rue Saint-Georges, Paris, 9^e.
- VECHKOURTZOFF**, Ingénieur de la Marine Impériale Russe, Directeur des Usines Baltiques de Constructions navales, 18, Kogevennaïa linia, V. O., Saint-Pétersbourg (Russie).
- VÉDRINE**, Président de la Chambre syndicale de la Navigation automobile, 59, boulevard du Château, Neuilly-sur-Seine (Seine).
- VENCE**, Ingénieur maritime, Ancien Inspecteur du Lloyd's Register, 26, rue de la République, Marseille.
- VERMAND**, Ingénieur des Ateliers et Chantiers de la Loire, Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
- VIERHOUT** (J.-C.), Expert du Bureau Veritas, 109, Prinz Hendrikkade, Amsterdam (Hollande).
- VILLE** (Georges), Ingénieur-Mécanicien, 30, Cours-la-Reine, Paris, 8^e.
- VINCENT** (Henry), Ingénieur-Constructeur, Cannes (Alpes-Maritimes).
- VITTECOQ**, Attaché aux Chantiers de France, 44, rue Nationale, Rosendaël (Nord).
- VIVET**, Ingénieur civil des Constructions navales (S. P.), Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
- VOILLAUME** (G.), Ingénieur des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët), 123, rue Ville-ès-Martin, Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).
- VOISIN** (E.), Capitaine au long cours, 11, boulevard Malesherbes, Paris, 8^e.
- WAHL**, Ingénieur en chef du Génie maritime, Ministère des Colonies, Paris, 8^e.
- WALCKENAER**, Ingénieur en chef des Mines, 218, boulevard Saint-Germain, Paris, 7^e.
- WETHERBEE**, Ingénieur civil des Constructions navales, Bath Shipbuilding C^o, Bath (États-Unis).
- WHITE** (Sir William), K. C. B., L. L. D., Sc. D., F. R. S (M. H.), Cedarcroft, Putney Heath, Londres, S. W. (Angleterre).
- WIDMANN**, Directeur général de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, rue Vignon, Paris, 8^e.
- WIDMANN** (Georges), Ingénieur de la Société des Générateurs Belleville, 134, avenue Victor-Hugo, Paris, 16^e.

MM

WILKINSON, Inspecteur en chef du Bureau Veritas, 17, Cheesborough Building, 17, State street, New-York (États-Unis).

WILLIAMS, Armateur, Administrateur-délégué de la Compagnie d'armements et de constructions navales, 50, boulevard Haussmann, Paris, 9^e.

WILLIAMS (Henry), Ingénieur de la Marine des États-Unis, Shipbuilding Company, Newport-News (Va.) (États-Unis).

WOODWARD, Ingénieur de la Marine des États-Unis, Board of Inspection and Survey, Navy Department, Washington (États-Unis).

YARROW, Constructeur, Isle of Dogs, Poplar, Londres (Angleterre).

YOUNG, Ingénieur du Bureau Veritas, 155, Fenchurch street, Londres (Angleterre).

ZIEGEL, Ingénieur du Génie maritime, Ingénieur en chef des Chantiers et Ateliers de Provence, 40, chemin de la Madrague, Marseille.

ZIEZE, Ingénieur propriétaire des Chantiers Schichau, Elbing (Allemagne).

NOTA. — Les membres de l'Association sont priés d'indiquer au Secrétaire général les erreurs ou omissions, ainsi que toute modification à apporter aux titres et adresses.

DIX-SEPTIÈME SESSION

DE

L'ASSOCIATION TECHNIQUE MARITIME

8 ET 9 MAI 1906.

La dix-septième Assemblée générale des membres de l'Association technique maritime a eu lieu à l'Hôtel de la Société des Ingénieurs civils de France, 19, rue Blanche, à Paris.

SÉANCES DU 8 MAI 1906.

Séance du matin.

PRÉSIDENCE DE M. NORMAND.

La séance est ouverte à 9^h45^m.

Sur l'invitation du Président, le Secrétaire général donne lecture du rapport de Conseil d'Administration sur sa gestion et sur la situation financière et morale de l'Association.

Rapport du Conseil.

Conformément à l'article 7 de vos Statuts, votre Conseil a à vous rendre compte des principaux faits de sa gestion depuis la dernière Assemblée générale.

Le fait le plus saillant, que nous ne pouvons assez déplorer, est la perte de notre Président, M. Daymard. Nous ne saurions assez regretter les éminentes qualités, qui le rendaient si parfaitement apte à présider et à guider une Société comme la nôtre, à laquelle il donnait sans compter sa sollicitude, son temps et ses forces. Une notice, due à son plus dévoué collaborateur, insérée dans le *Bulletin* de cette année, retracera cette carrière si bien remplie, mieux que nous ne pourrions le faire dans ce rapide exposé, et nous nous bornerons à adresser à sa famille l'expression de la douloureuse sympathie de l'Association.

Peu après la perte de M. Daymard, votre Conseil était frappé coup sur coup par celles de MM. Noël et Bienaymé. Le premier, par son assiduité à nos séances et aux réunions du Conseil, nous apportait sans cesse l'utile concours de ses lumières. Le second, bien qu'éloigné de Paris par sa santé, n'en persistait pas moins à témoigner, en toute circonstance, de l'intérêt qu'il prenait à nos travaux.

Enfin un nouveau vide s'est fait dans le Conseil par la démission de M. Patry, qui, appelé au Bureau Veritas à des fonctions plus actives, a craint de ne pouvoir donner à l'Association le temps nécessaire. Dans ces conditions, le Conseil a dû, conformément à l'article 4 des Statuts, pourvoir au remplacement des membres disparus. Il a fait choix de MM. Cloarec, Directeur de la Ligue maritime Française; Ferrand, Ingénieur en chef du Génie maritime; Hart, Ingénieur chargé des services maritimes du chemin de fer du Nord, et Alphonse Tellier, Constructeur de canots automobiles. Le Conseil a été guidé, dans ses choix, non seulement par la valeur personnelle, la compétence et le dévouement à l'Association de ceux de nos collègues auxquels il s'adressait, mais, en outre, par le désir de réunir dans le Conseil des représentants des principales catégories de personnes, parmi lesquelles se recrute notre Association.

Le Conseil vous demande de ratifier ses choix.

D'autre part, les six membres du Conseil, dont le mandat expire cette année, sont MM. de Chasseloup-Laubat, Borja de Mozota, Guyou, Hauser, Gaston Menier et Widmann. Ils sont rééligibles; le Conseil vous propose de renouveler leur mandat.

Les recettes et dépenses de l'année 1905 s'établissent ainsi qu'il suit :

État des recettes et des dépenses en 1905.

ASSOCIATION.

Recettes.

Solde de l'exercice 1904.....		fr 1006,36
Cotisations des membres titulaires.	1903..... 1904..... 1905..... Versement d'un souscripteur perpétuel.....	60,00 210,00 9360,00 400,00
Vente de <i>Bulletins de l'Association</i>		1813,20
Produit des Annonces publiées dans l' <i>Annuaire</i>		170,00
Intérêts.	7 obligations P.-L.-M. fusion 3 pour 100..... 8 obligations foncières 1879.. Rente 3 pour 100 amortissable Crédit Lyonnais	100,80 115,20 795,00 17,22
Remboursement au pair de 240 ^{fr} de rente 3 pour 100 amortissable.....		8000,00
		<u>22047,78</u>

Dépenses.

Loyer et gratification	fr 650,00
Note de M. Gauthier-Villars (<i>Bulletin</i> n° 16)	6498,87
<i>Annuaire</i> et imprimés divers	489,75
Affranchissements, ports de lettres, frais divers.....	626,45
Allocations aux dessinateur, expéditeur et garçon du Bureau Veritas.....	300,00
Frais relatifs à la session et aux réunions.....	318,00
Assurance.....	25,30
Achat de 240 ^{fr} de rente 3 pour 100 amortissable, en remplacement des 240 ^{fr} remboursés	7906,63
Achat de 6 obligations foncières 1879.....	3046,70
Frais financiers, Crédit Lyonnais.....	69,75
	<u>19931,47</u>
Solde à reporter à l'exercice 1906.....	2116,31
Total égal aux recettes.....	<u>22047,78</u>

FONDATION CANET.

Recettes.

Solde de l'exercice 1904.....	fr 406,37
Arrérages de l'année 1905.....	400,00
Intérêts des arrérages	2,00
	<u>808,37</u>

Dépenses.

Néant.....	fr 0,00
Solde à reporter à l'exercice 1906.....	808,37
Total égal aux recettes.....	808,37

RÉCAPITULATION.

Solde Association	fr 2116,31	En caisse.....	fr 1333,18
Solde Fondation Canet.....	808,37	Crédit Lyonnais.....	1591,50
Total	2924,68	Total égal.....	2924,68

RÉSUMÉ.

Le capital de l'Association s'élève aux chiffres suivants :

Solde au 31 décembre 1905.....	fr 2116,31
Valeurs en dépôt au Crédit Lyonnais.....	7 obligations P.-L.-M. fusion 3 pour 100, au cours du 31 décembre 1905..... 14 obligations foncières 1879 au cours du 31 décembre 1905..... 795^{fr} de rente 3 pour 100 amortissable au cours du 31 décembre 1905.....
	3302,25
	7070,00
	26447,00
	38935,56
Le capital de la Fondation Canet est constitué par 400 ^{fr} de rente 3 pour 100 perpétuelle, valant au cours du 31 décembre 1905.....	13200,00
Auquel il convient d'ajouter les arrérages en caisse au 31 décembre 1905...	808,37
	14008,37

De l'examen de ces chiffres il résulte que nos dépenses ont été sensiblement inférieures à nos recettes, ce qui a permis à notre capital de passer de 34 364^{fr}, 86 au 31 décembre 1904 à 38 935^{fr}, 56 au 31 décembre 1905. Ce capital est encore bien modeste; il ne représente que 100^{fr} environ par membre. Nous considérons cependant cette situation comme satisfaisante, et comme assurant convenablement notre avenir, bien que nous désirions vivement que quelques dons généreux nous permettent quelques améliorations utiles.

C'est dans ce but que nous avons demandé l'autorisation de solliciter du Gouvernement la reconnaissance de notre Association comme Établissement d'utilité publique. Nous vous informons avec regret que cette demande n'a pas été agréée. Nous espérons toutefois que, quand notre Société aura fait de nouveaux progrès au double point de vue du nombre de ses membres et de son capital, une demande nouvelle aura une meilleure fortune.

La situation de la fondation Canet ne comporte pas d'observations. Elle a permis à votre Conseil de vous demander, cette année, des propositions en

vue de confier à un jeune ingénieur une de ces missions d'étude à l'étranger, que nous voudrions pouvoir rendre plus fréquentes. Nous sommes assurés d'ailleurs que nos sociétaires étrangers nous donneront toute l'aide nécessaire pour que ces missions soient fructueuses.

Le Conseil vous demande d'approuver les comptes qui précèdent.

D'après les résultats des derniers exercices, et en évaluant les recettes avec la plus grande modération, votre Conseil a établi le projet de budget suivant pour l'exercice 1906 :

Recettes.

	fr
Cotisations.....	10000
Vente de Bulletins.....	1200
Annonces de l'Annuaire.....	200
Intérêts des valeurs en portefeuille.....	1100
Total.....	12500

Dépenses.

Loyer et gratification.....	650
Bulletin.....	7000
Annuaire et imprimés divers.....	500
Affranchissements, frais divers.....	700
Allocation au dessinateur, expéditeur et garçons de bureau du Bureau Veritas...	300
Frais relatifs à la session et aux réunions.....	350
Assurance.....	26
Frais financiers.....	10
	9536
Excédent prévu des recettes sur les dépenses.....	2964
Total égal.....	12500

Le Conseil vous demande d'approuver ce projet de budget.

Conformément à l'article 2 des Statuts, le Conseil a admis les membres titulaires suivants :

MM.

ARCHINARD, Ingénieur des Ateliers et Chantiers de la Loire.

BRASSEY (Lord), K, C, B.

CHANU, Courtier-juré d'assurances.

DEUTSCH DE LA MEURTHE (Henry), Industriel.

DURIS, Capitaine au long-cours.

ERMAKOFF, Ingénieur en chef de la Compagnie de navigation à vapeur du Danube.

FARCOT (Ambroise), Ingénieur-Constructeur.

GUÉRARD, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

HICGUET, Directeur commercial de la Société métallurgique de Senelle-Maubeuge.

MM.

ITCHIJO (Prince), Capitaine de frégate. Attaché naval à la Légation du Japon.

JOBERT, Chimiste.

LEFEBVRE (Georges), Membre de la Chambre de Commerce de Paris.

LHOMME, Directeur du Génie maritime.

MARTIN-ZÉDÉ, Avocat.

MARTY, Ingénieur en chef du Génie maritime, en retraite.

MORS (Louis), Ingénieur-Constructeur.

RENAULT (L.), Ingénieur-Constructeur.

RENAULT (H.-L.), Ingénieur principal du Génie maritime.

ROMAZOTTI, Directeur du Génie maritime.

VINCENT (Henri), Ingénieur-Constructeur.

WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines.

Nous avons eu, en outre, la satisfaction d'inscrire comme membres donateurs les Usines Baltiques de Construction navale de Saint-Pétersbourg, et M. Normand, notre respecté Vice-Président.

Tout en considérant comme très satisfaisante, au point de vue de la valeur individuelle de ses membres anciens et nouveaux, la composition de notre Association, nous serions désireux de voir le nombre de ses membres suivre une progression plus rapide. Quelques-uns d'entre nous, en nous amenant de nombreux adhérents, ont prouvé ce que peut faire une propagande active et zélée. Nous faisons donc un chaleureux appel à l'intérêt que vous portez tous à l'Association, pour que vous cherchiez à y faire entrer les personnes que vous jugerez susceptibles soit de prendre part à ses travaux, soit de s'intéresser à son développement et aux progrès de notre Marine, qui sont sa raison d'être et son but.

Ainsi que vous le verrez dans les lectures qui vont suivre, notre session annuelle est cette année fournie d'un assez bon nombre de mémoires sur des sujets variés : la théorie du navire, la thermodynamique, les chaudières marines, les turbines à vapeur, la distribution par soupapes et la surchauffe, les propulseurs, l'architecture navale, militaire et de plaisance, y sont représentés. Nous faisons toutefois appel à tous les membres de l'Association, et surtout à ceux qui ne nous ont pas encore donné de mémoires, pour que l'année prochaine ils viennent nous apporter la primeur de leurs travaux. Qu'ils soient bien convaincus que nombre de questions pratiques, de dispositifs de construction, de procédés nouveaux de travail présenteraient un intérêt sérieux, et figureraient utilement à côté d'études théoriques dans notre *Bulletin*, qui est la principale manifestation de notre activité; qu'ils se rappellent que le but de notre Association est, aux termes de ses Statuts, *de rassembler en commun les résultats de l'expérience acquise isolément...*, qui,

sans valeur lorsqu'ils restent isolés, peuvent aider aux progrès des constructions, lorsqu'ils se trouveront condensés dans une publication spéciale.

LE CONSEIL.

L'Assemblée générale procède au vote des résolutions suivantes :

Première résolution. — L'Assemblée générale approuve les comptes de l'exercice 1905, tels qu'ils sont présentés par le Conseil. (*Adopté à l'unanimité.*)

Deuxième résolution. — L'Assemblée générale approuve le projet de budget de 1906, tel qu'il est présenté par le Conseil. (*Adopté à l'unanimité.*)

Troisième résolution. — L'Assemblée générale ratifie la nomination comme membres du Conseil de MM. Cloarec, Ferrand, Hart et Tellier. (*Adopté à l'unanimité.*)

M. le PRÉSIDENT prononce ensuite l'allocution suivante :

« MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

» Ma première parole doit être l'expression des regrets que nous éprouvons tous pour la perte cruelle que nous avons faite depuis notre dernière session. M. Daymard n'a exercé la présidence que pendant un an et demi; ce court espace de temps, pendant lequel il s'est voué sans réserve au bien de l'Association, a suffi pour justifier notre choix. Ses travaux scientifiques, ses œuvres comme constructeur émérite lui avaient valu une juste renommée, non seulement en France, mais encore à l'étranger, où il comptait de nombreux amis, et où il avait plusieurs fois représenté avec autorité notre Société. Je n'en dirai pas davantage; son ami et son collaborateur de seize années a consenti à retracer pour nous les faits qui ont marqué sa carrière si bien remplie.

» Je n'abuserai pas de ce que le hasard des circonstances m'a procuré l'honneur de présider notre première réunion pour passer longuement en revue les événements remarquables, qui se sont produits récemment dans le monde maritime. Ce rôle appartiendrait beaucoup plus justement au président que vous allez élire; mais, pour me conformer à l'usage, je vous demande la permission de vous présenter quelques courtes observations.

» L'année qui vient de s'écouler a été fertile en enseignements militaires et techniques.

» L'inégalité des conditions des deux adversaires de la guerre Russo-Japonaise n'a pas permis d'en tirer des conclusions aussi précises que plusieurs critiques navals se croient autorisés à le faire. Quelques-unes, cependant, semblent définitives.

» Le tirage forcé, au moins facultatif, s'impose sur les cuirassés d'escadre et les croiseurs.

» Une protection efficace paraît possible contre l'action des torpilles automobiles actuelles. Nous devons nous féliciter de ce que le *Cesarewitch*, qui a, plus que tout autre bâtiment, fourni cette preuve, est l'œuvre d'un ingénieur et d'un chantier français. Il faut s'attendre, il est vrai, à ce que la puissance destructive de la torpille augmente ; car les torpilles d'ancien modèle ne paraissent pas avoir fourni tous les résultats attendus.

» La composition de l'artillerie des escadres doit être telle que celles-ci possèdent une puissance de feu efficace au moins égale à celle de l'adversaire, quelle que soit la distance. Si cette condition est remplie — et elle le sera d'autant plus facilement qu'une moindre fraction des déplacements disponibles aura été employée à l'accroissement de la vitesse — l'escadre moins rapide n'a pas à craindre d'être écrasée impunément à grande distance. Une augmentation de la grosse artillerie s'impose.

» L'un des faits maritimes récents les plus importants est la décision prise par l'Amirauté Anglaise d'employer exclusivement, sur sa nouvelle flotte, la turbine à vapeur.

» Cette mesure d'une extrême hardiesse peut se traduire ainsi : sacrifier le rayon d'action à petite vitesse à l'accroissement de la vitesse maxima.

» A première vue, elle paraît justifiée de la part d'une puissance qui possède l'empire de la mer, dont les points de ravitaillement, admirablement outillés pour un service rapide, ne se comptent plus, et qui veut pouvoir rassembler ses forces éparses, pour une action décisive, dans le minimum de temps. Les puissances navales qui se trouvent dans des conditions différentes agiront peut-être sagement en ne suivant qu'avec prudence l'exemple de l'Angleterre.

» Pour celles qui possèdent des colonies éloignées, le rayon d'action présente une importance capitale, et, quelles que soient la perfection et l'importance des moyens employés pour opérer le ravitaillement par transports, les risques et les retards qu'entraîne l'opération seront toujours très grands.

» Il restera encore un champ suffisamment vaste à la turbine dans les bâtiments que toutes les marines de guerre doivent posséder, et dont la vitesse constitue la qualité maîtresse, et surtout dans la flotte commerciale rapide.

» En effet, la supériorité de la turbine s'affirme de plus en plus pour les navires de vitesse très élevée et constante, et de dimensions suffisantes pour fournir aux hélices une bonne immersion.

» Et cependant, cette supériorité ne représente que la différence entre le rendement supérieur du moteur et le rendement inférieur des propulseurs de surface insuffisante.

» Je termine, messieurs, en souhaitant que la promulgation de la loi sur la marine marchande redonne un peu de vie à nos chantiers et à nos armements. »

M. le PRÉSIDENT fait connaître le résultat du scrutin pour le renouvellement du Conseil.

Sont réélus à l'unanimité : MM. DE CHASSELOUP-LAUBAT, BORJA DE MOGOTA, GUYOU, HAUSER, GASTON MENIER et WIDMANN.

M. le PRÉSIDENT. — Je donne la parole à M. Godard, pour une communication au sujet d'un remorqueur, sur lequel a été installée une machine à soupapes.

M. GODARD. — Messieurs, M. le Ministre de la Marine a bien voulu autoriser la Société des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët) à faire remonter à Paris le remorqueur *Dolmen*, construit pour le port de Brest par nos Chantiers de Normandie, à Rouen.

L'intérêt que présente ce remorqueur est de posséder la première machine à distribution par soupapes équilibrées, système Lentz. Ce système, très apprécié dans les machines fixes, puisque plus de 450000^{chx} sont actuellement en service, est caractérisé par l'absence de frottement des distributeurs, et de chocs dans leurs mouvements. D'où possibilité de faire tourner les machines à un nombre de tours aussi grand qu'on le désire, et d'employer de la vapeur aux plus hautes températures pratiques.

La machine du *Dolmen* marche sans surchauffe, afin de ne pas compliquer le problème.

Il en sera de même du torpilleur 366, dont la machine, en construction dans les Chantiers de l'Atlantique de la Société, à Saint-Nazaire, comportera la distribution système Lentz.

Par contre, un cargo-boat de la Compagnie Générale Transatlantique, également en construction dans les chantiers de notre Société, sera muni d'une machine de 1500^{chx}, et comportera non seulement la distribution par soupapes, système Lentz, mais encore un surchauffeur, système Pielock, placé dans l'intérieur du corps cylindrique.

Le torpilleur et le cargo-boat seront terminés dans le deuxième trimestre de 1906, et l'on verra ainsi prochainement si les appareils moteurs économiques, en service à terre depuis quelques années, ne sont pas tout aussi applicables aux machines de navire de guerre et de commerce, ainsi que l'on est en droit de l'espérer.

Les membres de l'Association Technique Maritime, qui s'intéressent à la question, pourront examiner en détail la machine du *Dolmen*, qui sera demain à 4^h du soir à leur disposition, pour faire une petite promenade en Seine.

M. NORMAND cède alors le fauteuil de la présidence à M. Bertin, et donne lecture de son mémoire.

De la grandeur absolue des cuirassés d'escadre en fonction de la vitesse;

Par M. J.-A. NORMAND.

Partant d'un cuirassé d'escadre de 16000¹^{re}, d'une vitesse de 19 nœuds, M. Normand calcule le supplément de déplacement disponible, que fournirait une réduction de vitesse d'un nœud, et arrive à trouver une disponibilité de 769¹^{re}, qui peut être utilisée pour accroître la protection, l'artillerie, le rayon d'action, etc., ou employée à réduire la grandeur absolue du navire, dont le déplacement devient 15128¹^{re}.

Un calcul analogue fournit les déplacements de cuirassés ayant même puissance offensive et défensive, même rayon d'action, mêmes qualités de navigabilité, et ne différant que par la vitesse.

M. BERTIN. — En rendant le fauteuil à M. Normand, je le remercie en votre nom de sa communication; il a été l'initiateur de ce genre fécond de calcul, dont nous avons tous tiré un si grand parti; ce chapitre ajouté à ses œuvres si nombreuses ne pourra qu'augmenter les services qu'il nous a rendus. (*Applaudissements.*)

M. BERTIN donne lecture de son mémoire.

*Stabilité d'un flotteur cylindrique sous les grands angles d'inclinaison,
Influence de la hauteur d'œuvres mortes;*

Par M. L.-E. BERTIN,
Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve,
Membre de l'Institut.

M. Bertin expose une méthode tout à fait élémentaire pour le calcul du couple de stabilité d'un flotteur cylindrique, ou assimilable à un flotteur cylindrique. Il calcule en particulier ce couple pour des flotteurs à œuvres mortes plus ou moins élevées, assimilables aux cuirassés, aux croiseurs et aux monitors.

M. BERTIN. — Le Commandeur Cialdi était, il y a une quarantaine d'années, Commandant de la Marine Pontificale, et comme sa situation lui laissait quelques loisirs, et qu'il était un très savant homme, et un excellent marin, il a utilisé son temps à parcourir la Méditerranée, et parfois l'Atlantique pour

observer la houle; il a publié un volume « *Sul moto ondoso del mare* » qui fait autorité, et dans lequel sont réunies ses observations, et à peu près l'ensemble de tout ce qui avait été publié avant lui sur ce sujet; cet ouvrage renferme une discussion très complète de toutes les observations faites sur les vagues. En 1869, nous nous sommes trouvés en relations; j'avais étudié les vagues, mais à un point de vue assez différent du sien: j'avais, en particulier, demandé à la théorie des vagues de donner la position du centre de poussée, que l'on ne connaissait pas à cette époque; Cialdi était de ceux qui considéraient un peu le métacentre comme entouré de mystère, et, comme il m'avait demandé à plusieurs reprises de lui donner une explication plus claire que celle de Bouguer, je lui ai envoyé une étude, dans laquelle le métacentre a l'avantage d'être tout simplement le centre d'un cercle. Cette étude a été publiée à cette époque dans les *Mémoires de l'Académie dei Nuovi Lincei*; je me proposais d'envoyer celle d'aujourd'hui également à Rome, quand nous avons redouté pour cette année un déficit de mémoires, qui fort heureusement a été largement comblé au dernier moment. (*Applaudissements.*)

M. le PRÉSIDENT. — Je signale à l'attention de l'Association l'intéressant travail de M. Bertin, et lui adresse tous les remerciements de l'Assemblée.

M. DE MAUPEOU résume son mémoire.

Une expérience de choc;

Par **M. le Comte DE MAUPEOU D'ABLEIGES**,
Directeur du Génie maritime.

Pour vérifier l'exactitude de la théorie du choc, exposée par lui dans le *Bulletin* de 1903 de l'Association Technique Maritime, M. de Maupeou a réalisé un dispositif composé d'un marteau et d'une enclume, munis d'appareils enregistreurs, qui permettent de contrôler le déplacement de leurs extrémités, voisines du point d'impact.

L'examen des diagrammes ainsi obtenus vérifie complètement le diagramme théorique, résultant du calcul, publié en 1903, et prouve que les différentes tranches d'une barre élastique subissent les unes après les autres des accroissements brusques de vitesse, ce qui constitue un mouvement saccadé, ou vermiculaire.

M. le PRÉSIDENT. — Nous remercions beaucoup M. de Maupeou de son intéressante communication, qui complète et vérifie d'une si heureuse façon les théories précédemment établies par lui.

M. HAUSER, Secrétaire général, donne lecture du mémoire de M. Brosser.

Contribution à l'étude de la fragilité des métaux. Critique de l'épreuve de choc;

Par M. BROSSER,
Ingénieur en chef du Génie maritime.

L'auteur fait remarquer qu'on ne peut avoir des mesures comparables de la fragilité des corps, qu'en leur faisant subir un choc brusque, et signale les erreurs auxquelles on serait conduit, si la durée de l'effort qui se produit était suffisante, pour qu'il pût en résulter une déformation sensible du corps, soit élastique, soit permanente, qui absorberait une partie appréciable de la force vive.

M. DE MAUPROU. — Les essais actuels de blindages cimentés remplissent en partie le desideratum indiqué par M. Brosser. Pour les plaques de ceinture, on tire trois coups ; le premier coup ne produit souvent pas de fentes, ou du moins elles ne sont pas visibles ; mais il arrive qu'elles augmentent au second coup, et quelquefois, après le troisième, une partie de la cible est dénudée, par suite de la chute du blindage. Il ne faut pourtant pas trop s'effrayer de ce résultat, qui d'ailleurs est très rare, parce qu'au combat, il ne se produira pas de coups de gros calibres aussi rapprochés.

Je pense, comme M. Brosser, que c'est à l'équation des quantités de mouvement qu'il faut avoir recours pour calculer les pressions pendant le choc, et cela pour les raisons suivantes : tant que les efforts développés au contact des deux corps qui se rencontrent ne dépassent pas la limite de l'élasticité, la quantité de mouvement se transforme en impulsion et réciproquement, ce qui a pour résultat de ralentir le mouvement de l'un et d'accélérer celui de l'autre. Quant à la force vive, elle se conserve en partie, et l'autre partie se transforme en travail élastique, qui, par la détente, peut redonner de la vitesse. Dans le cas simple de deux barres métalliques qui se rencontrent en bout, le travail élastique de compression est précisément équivalent à la force vive acquise, pour une certaine masse de matière, en sorte que la détente peut la faire revenir au repos, ou doubler sa vitesse, suivant que cette détente se produit en sens inverse de la vitesse ou dans le même sens ; c'est ce qui a lieu aux extrémités d'une barre parcourue par une onde comprimée, à la suite d'un choc.

Lorsque la limite élastique est dépassée, il y a toujours transformation de quantité de mouvement en impulsion, et réciproquement ; l'équation des quantités de mouvement donne encore les efforts développés au contact ; mais, comme ces efforts dépassent les limites de l'élasticité de la matière, ils produisent un travail élastique réversible correspondant à la partie élastique de la déformation, et une certaine quantité de chaleur correspondant à la déformation permanente ; on voit que dans ce cas la force vive se conserve

en partie, et se transforme partie en travail élastique, qui peut redonner de la vitesse, et partie en chaleur, qui élève la température de la matière.

M. BERTIN. — Même dans l'onde élastique? **M. de Maupeou**, qui a étudié les infiniment petits, trouvera un réchauffement, puis un refroidissement.

M. DE MAUPEOU. — Je n'ai pas été jusque-là.

M. le PRÉSIDENT. — Lorsque la pointe d'un projectile attaque une plaque de blindage, elle y fait une empreinte conique, et la limite élastique est toujours dépassée, à cause de la très faible surface du cône. Il y a eu à cet égard des expériences qui ont fait du bruit ; on a dit que le volume de l'empreinte est exactement proportionnel à la force vive du couteau.

M. DE MAUPEOU. — Un Américain a cherché à établir une formule de perforation, en se basant sur le volume de métal écroui par le choc.

M. le PRÉSIDENT. — En France, un mémoire a été adressé à l'Académie des Sciences à ce sujet.

M. DE MAUPEOU. — Oui, **M. le Commandant Vallier**, reprenant l'idée de **M. Weaver**, a fait à l'Académie des Sciences une communication insérée aux *Comptes rendus* (séance du 21 janvier 1895). Notre collègue **M. Baclé** donne les formules de **M. Weaver** et du **Commandant Vallier**, dans son intéressant travail sur les blindages, qui a d'abord paru dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* (novembre et décembre 1899) et a été complété en 1900 (voir p. 75 et suiv.).

Voici d'ailleurs les faits sur lesquels ces deux auteurs se sont basés.

Lorsqu'un projectile a traversé une plaque de blindage non cimentée, on remarque autour du trou une sorte d'auréole, où le métal est comme décapé; c'est ce que nous appelons le halo, par analogie avec le halo lunaire. Cet effet est surtout sensible sur les plaques fortement oxydées; on conçoit que la rouille, n'ayant pas l'élasticité du métal, se détache, et tombe lorsque celui-ci travaille énergiquement par compression; la peinture à l'huile, plus élastique, se détache par plaques. On peut admettre que le diamètre du halo indique la partie de la plaque où le métal a le plus travaillé pour arrêter le projectile, et donne par suite une indication sur le travail de perforation.

Le phénomène de la perforation est très complexe, et comporte plusieurs phases. Considérons une plaque dont l'épaisseur est grande relativement au diamètre du projectile; au moment où la pointe de celui-ci attaque la plaque, elle exerce sur sa surface une pression, qui se transmet avec une très grande vitesse, 5000^m environ; il faut cependant un temps appréciable

pour que cette pression traverse l'épaisseur de la plaque, $t = \frac{e}{5000}$, et pendant ce temps la masse arrière ne peut pas se déformer, car elle ne se doute même pas de ce qui se passe sur la face avant. En m'exprimant ainsi, je m'expose au reproche de faire de l'Anthropomorphisme; je crois pourtant que, pour bien analyser les phénomènes, il est nécessaire de se mettre à la place de la matière, pour se rendre compte de ce qui se passe. Pendant le temps t , la pointe du projectile pénètre dans la plaque, comprime et déplace la matière, qui ne peut pas revenir en avant; les bavures commencent à se produire, et augmentent, tant que la face avant de la plaque est le côté de moindre résistance. A mesure que le projectile pénètre dans la plaque, la section de métal attaqué croît, ce qui augmente la résistance; lorsque la pénétration est égale à la hauteur de l'ogive, la section d'attaque reste constante, comme dans le cas d'une carène se déplaçant dans l'eau. Pendant ce temps, la pression augmente du côté de la face arrière de la plaque, celle-ci se bombe, le métal se crevasse; on voit d'abord à la surface des points brillants, puis il se forme une étoile de fentes, et des écailles qui se relèvent ou se détachent, suivant la nature du métal.

Il y a en somme trois phénomènes, qui peuvent se succéder ou se mélanger suivant l'épaisseur de la plaque :

Phénomène des bavures à l'entrée du projectile;

Phénomène du cheminement à l'intérieur du métal;

Phénomène des écailles à la sortie du projectile.

Dans la pratique, comme l'épaisseur de la plaque est voisine du diamètre du projectile, les trois phénomènes se produisent presque simultanément, et se mélangent en se compliquant; c'est ce qui fait qu'on ne peut établir que des formules empiriques pour la perforation des plaques.

M. le PRÉSIDENT. — Nous remercions M. Brosse de nous avoir adressé son intéressant mémoire, et nous regrettons qu'il n'ait pu prendre part à la discussion qui l'a complété.

La séance est levée à 11^h 45^m.

Séance de l'après-midi.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 2^h 15^m.

M. HAUSER, Secrétaire général, donne lecture du mémoire de M. Doyère.

*Résistance à la rotation des propulseurs dans les navires à trois hélices.
Résistance de l'hélice d'un remorqueur;*

Par M. DOYÈRE,
Ingénieur en chef du Génie maritime.

Poursuivant des études sur les hélices, qui ont déjà trouvé place dans le *Bulletin de l'Association Technique Maritime*, l'auteur démontre qu'à égalité de puissance les hélices latérales tournent de 3 pour 100 plus vite que l'hélice centrale. Il applique ses formules au cas de l'essai au point fixe, et démontre que le rapport $\frac{N}{\sqrt{F}}$ est, au point fixe, 0,82 en moyenne de ce qu'il est en route libre. Enfin, il applique le même mode de calcul au cas du remorquage.

M. le PRÉSIDENT. — Messieurs, vous avez entendu avec intérêt la note de M. Doyère, qui est très réservé dans ses conclusions, comme c'est son habitude. Quelques membres auront probablement des observations à faire sur le sujet traité, mais, si vous le voulez bien, nous attendrons pour procéder à une discussion d'ensemble, que M. Beausire et M. Bassetti aient bien voulu nous lire leurs mémoires sur les hélices.

Je vous demande auparavant la permission de vous donner le résultat de l'élection de votre Bureau par le Conseil.

J'ai d'abord le très vif regret de vous annoncer que le doyen des Vice-Présidents, M. Normand, que nous aurions tous vivement désiré voir prendre la charge que M. Daynard, à sa mort, avait laissée libre, a cru devoir, en invoquant sa résidence hors de Paris, se dérober à notre choix, pour lequel il était tout désigné, d'abord par sa haute réputation de constructeur, ensuite parce qu'il est un des premiers fondateurs de notre Société. M. Normand s'étant, à notre grand regret, retiré, le résultat de l'élection a été le suivant :

Président	M. BERTIN.
	M. DE CHASSELOUP-LAUBAT.
	M. HUIN.
Vice-Présidents.....	M. LECLERT.
	M. HENRI MENIER.
	M. WIDMANN.
Secrétaire général	M. HAUSER.
Secrétaire	M. TURGAN.
Secrétaire Adjoint.....	M. TELLIER.
Trésorier	M. BORJA DE MOZOTA.

Je n'ai qu'à m'incliner, en remerciant mes confrères de l'honneur qu'ils m'ont fait, et en leur promettant que je m'appliquerai de mon mieux à leur faire regretter le moins possible la décision de M. Normand.

La parole est à M. Beausire.

M. BEAUSIRE donne lecture de son mémoire.

Note sur la résistance de l'hélice centrale des navires à trois hélices ;

Par M. BEAUSIRE,

Ingénieur en chef du Génie maritime,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

L'auteur rapproche les résultats d'essais des croiseurs cuirassés *Jules-Ferry*, *Jeanne-d'Arc*, *Léon-Gambetta*, *Condé*, *Amiral-Aube*, *Gloire*, *Marseillaise* et *Sully*, des croiseurs *Chateaurenault* et *Guichen* et du torpilleur *Yarrow*. Il en conclut qu'au point fixe, les trois machines marchant simultanément, et l'hélice centrale étant sur l'arrière des hélices latérales, la résistance brute de l'hélice centrale est plus faible que celle des hélices latérales. Ce n'est qu'en marche que l'hélice centrale a une plus forte résistance, et ce renversement d'effet provient de la différence d'action du sillage sur les trois hélices, ou de la coque en mouvement.

M. le PRÉSIDENT. — Nous remercions M. Beausire de son intéressante étude, et j'ai à ce sujet une question à lui poser. Pour les cinq croiseurs du type *Marseillaise*, les dispositions différentes des hélices avaient été adoptées surtout pour étudier l'effet que la position des hélices latérales, par rapport à l'hélice centrale, peut avoir sur le coefficient d'utilisation du bâtiment. Les résultats des essais ont-ils donné des indications à ce point de vue?

M. BEAUSIRE. — L'examen des valeurs de l'utilisation ne semble pas montrer que les différences de position des hélices aient une influence sensible sur ces valeurs. Elles sont du reste affectées par un grand nombre de causes, qui peuvent masquer l'effet d'une cause particulière.

M. le PRÉSIDENT. — En somme, il n'y a rien eu de net.

M. HART. — Dans les croiseurs type *Marseillaise*, dont les arbres latéraux sont distants de 4^m,90 des arbres centraux, quels étaient les diamètres des hélices?

M. BEAUSIRE. — Ces diamètres sont donnés dans la note. Ils sont d'environ 4^m,60 pour les hélices latérales, et 4^m,55 pour l'hélice centrale.

M. HART. — La distance des arbres est ainsi supérieure aux diamètres des hélices. Il y a certains bâtiments où cette distance est égale au diamètre des hélices. En outre, je dois vous signaler que, pour les navires à turbines, on fait le contraire de ce qu'a indiqué M. Beausire. L'hélice centrale a toujours le même diamètre que les hélices latérales, et en outre son pas est plus grand, parce qu'elle est sur l'arrière.

M. BEAUSIRE. — Oui, mais alors l'hélice centrale doit tourner moins vite que les hélices latérales, à moins que la turbine centrale ne soit plus puissante que les turbines latérales.

Sur certains bâtiments à turbines, *Amethyst*, *Manxman*, dont les résultats d'essais ont été publiés, on constate bien que l'hélice centrale a de plus fortes dimensions que les hélices latérales, et tourne plus lentement que ces dernières.

Par ailleurs, il existe des bâtiments à trois hélices et à machines alternatives, où l'on a adopté pour l'hélice centrale, comme pour les navires à turbines signalés par M. Hart, un pas plus grand que pour les hélices latérales. Bien entendu l'hélice centrale était à l'arrière des hélices latérales. M. Laubeuf a signalé à ce point de vue, dans son mémoire : *Doubles hélices contre triples hélices* (*Bulletin de l'Association Technique Maritime* de 1905), le *Dupuy-de-Lôme* et le *Château-Renault*. On comptait probablement que, l'hélice centrale étant sur l'arrière des latérales, l'effet de l'eau rejetée par les hélices latérales diminuerait sa résistance.

D'après les conclusions de notre note, cette action est bien réelle, mais il se produit une autre action de sens contraire, qui l'emporte sur la première, et rend l'hélice centrale plus résistante.

M. BASSETTI. — A ce propos, la *Marseillaise* et l'*Amiral-Aube* n'avaient-ils pas les mêmes machines?

M. BEAUSIRE. — Identiquement.

M. BASSETTI. — N'avaient-ils pas les mêmes chaudières?

M. BEAUSIRE. — Ils avaient les mêmes chaudières.

M. le PRÉSIDENT. — La parole est à M. Bassetti.

M. BASSETTI donne lecture de son mémoire.

Note sur les hélices. Calcul de la résistance à la rotation ;

Par M. BASSETTI,
Ingénieur civil des Constructions navales,
Ingénieur des Ateliers et Chantiers de la Loire.

L'auteur établit, en vue de calculer le travail nécessaire pour faire tourner à une vitesse donnée une hélice dont on connaît les éléments principaux, une formule contenant un paramètre, dont les écarts sont moindres que ceux du paramètre analogue de la formule de Moll.

Ce paramètre varie peu pour des navires de types analogues, et varie beaucoup plus quand on passe d'un type à un autre, mettant en évidence l'influence des formes de la carène.

M. le PRÉSIDENT. — Monsieur Bassetti, vous paraissez être arrivé à une formule qui réalise un progrès au point de vue de l'exactitude. Vous serrez de plus près la question en ce qui concerne l'influence de la position et des proportions de l'hélice, mais avez-vous essayé de la serrer davantage encore en faisant intervenir, pour une certaine valeur, le facteur que vous avez supprimé, qui est la résistance relative ?

M. BASSETTI. — Je n'ai pas essayé de le faire.

M. LAUBEUF. — Quelle est la puissance qui est inscrite dans le mémoire ?

M. BASSETTI. — C'est la puissance indiquée, pour une hélice donnée.

M. LAUBEUF. — Quelle que soit la coque du bateau ? Par conséquent, qu'il s'agisse d'un bateau fin ou d'un navire de formes pleines, la formule reste la même. Or, si vous placez la même machine sur un torpilleur et sur un cuirassé, vous aurez des différences très notables entre les puissances développées.

M. le PRÉSIDENT. — C'est l'observation que je viens de faire. J'avais demandé à M. Bassetti s'il n'avait pas essayé d'établir sa formule en conservant un facteur dans lequel entrerait la résistance du navire.

M. BASSETTI. — Ce n'est pas une formule théorique, c'est une formule pratique. Ce sont les calculs, que j'ai pu faire avec de nombreuses données d'essais, qui m'ont amené à cette formule. C'est purement empirique.

M. le PRÉSIDENT. — Il est possible que l'introduction de la résistance rela-

tive permette de serrer encore de plus près la question, que ne l'a fait M. Bassetti. Comme les expériences qui ont servi de base sont celles de bâtiments qui se rapprochent tous plus ou moins les uns des autres, il n'est pas impossible que cette formule puisse donner de bons résultats pour un navire analogue; seulement il est possible également qu'elle fût encore meilleure en la combinant avec la formule de Moll.

M. LAUBEUF. — Je remarque également que M. Bassetti n'a pas introduit dans la formule le nombre d'ailes des hélices. Je suis, à ce sujet, d'accord avec lui.

En ce qui concerne le rapport du pas au diamètre; je demanderai à M. Bassetti quelle en était la valeur, qu'il n'a pas indiquée dans son mémoire.

M. BASSETTI. — C'étaient des hélices de proportions usuelles, je ne me rappelle pas exactement les chiffres, mais j'ai fait en grande partie ces calculs d'après les résultats d'essais donnés par M. Lelong dans une note sur l'état de la question des hélices.

M. LAUBEUF. — Alors le rapport est de 1,2 à peu près.

M. BASSETTI. — Pour quelques-uns il atteint jusqu'à 1,45.

M. LAUBEUF. — Seulement le jour où l'on se trouve à avoir à calculer des hélices qui sortent de ces limites, on ne sait plus trop ce que donnera la formule; on a une formule qui s'applique à des données voisines les unes des autres, et c'est tout à fait autre chose que d'avoir une formule pouvant servir au delà de ces limites. Je regrette de ne pas avoir eu le temps de faire des calculs d'après la formule de M. Bassetti, mais je suis bien persuadé qu'elle donnerait des résultats éloignés de la réalité pour certaines des hélices que j'ai eu à calculer.

M. BASSETTI. — Ma formule est surtout établie en vue de bateaux ordinaires avec machines à pistons, etc.

Note communiquée après la session par M. Laubeuf.

La formule de M. Bassetti ne tient compte de la carène que par le coefficient E. Entre un torpilleur où $\sqrt[3]{E10^8} = 1,05$, et un cuirassé, où il est 1,18 à 1,21, il y a peu de différence, et je suis bien certain que, si l'on mettait une hélice de torpilleur sur un cuirassé, la résistance varierait dans des limites bien plus éloignées. Et puis où commence le croiseur, où s'arrête le cuirassé? La limite est de plus en plus imprécise.

En second lieu, la formule ne tient pas compte du nombre d'ailes. Je suis arrivé au même résultat, en cherchant aussi, comme de nombreux ingénieurs, une formule sur la résistance à la rotation des hélices. Je suis ici d'accord avec M. Bassetti.

Mais cet accord cesse complètement sur les exposants attribués au diamètre et au pas, qui entrent à la puissance 4 et à la puissance 5, tandis que dans la formule de Moll ces exposants sont $\frac{7}{3}$ et 2.

Je pense que M. Bassetti a fait ses calculs d'après des hélices de modèle courant, c'est-à-dire où $\frac{H}{D}$ varie peu, de 1,1 à 1,4. Lorsqu'on sort de ces proportions, ce qui arrive couramment aujourd'hui avec les bateaux à turbines, la formule ne s'appliquera probablement plus.

J'ai eu personnellement à calculer des hélices sortant des dimensions ordinaires. Elles s'appliquaient à des bâtiments de la taille des torpilleurs. Le coefficient $\sqrt[3]{10^3 E}$ devrait par suite être 1,05, ou bien $10^3 E = 1,157$. Or, en appliquant la formule de M. Bassetti aux deux meilleures des hélices essayées, une à 3 ailes et une à 4 ailes, on trouve

$$10^3 E = 1,245 \text{ et } 1,375.$$

Ces chiffres sont fort éloignés du chiffre indiqué et sont bien loin aussi l'un de l'autre.

Dans ces conditions, la formule de Moll, malgré son ancienneté, représente encore mieux la réalité des faits que toutes celles qui ont été proposées depuis, et ce n'est pas un mince mérite, étant données les différences considérables entre la machine et les hélices actuelles, et celles qui existaient lorsque M. Moll a établi sa formule.

M. DE MAUPROU. — Le nombre d'ailes a bien la faible importance que vous lui attribuez. Nous avons connu un temps où l'on mettait 6 ou 8 ailes, et il arrivait qu'après avoir cassé deux ailes, le navire marchait mieux qu'avec les hélices intactes. (*Rires.*)

M. le PRÉSIDENT. — Les effets d'entraînement de l'eau nous ont été révélés par le travail d'un ingénieur Anglais. Il indiquait, si je me rappelle bien, tout à fait à l'arrière du bâtiment, des vitesses d'entraînement qui atteignaient facilement la moitié de la vitesse du navire.

Personne n'a plus d'observations à présenter relativement aux hélices ? Il nous reste alors à remercier M. Bassetti de sa communication.

M. HAUSER, Secrétaire général, donne lecture du mémoire de M. Doyère :

Théorème sur le métacentre différentiel ;

Par M. DOYÈRE,

Ingénieur en chef du Génie maritime.

L'auteur démontre que, si l'on projette sur un plan d'inclinaison les centres de gravité des diverses flottaisons isoclines correspondant à ce plan, on obtient des courbes, dont l'enveloppe est la projection du lieu des centres de gravité des flottaisons, pour lesquelles le métacentre différentiel est nul.

M. le PRÉSIDENT. — Nous saurons par ce savant mémoire qu'il y a une déve-

loppée de plus à ajouter au groupe varié, dont l'examen constitue déjà la théorie du navire.

M. HAUSER, Secrétaire général, donne lecture d'un second mémoire de **M. Doyère**.

Formules relatives à l'écoulement de la vapeur d'eau ;

Par **M. DOYÈRE**,
Ingénieur en chef du Génie maritime.

Partant de la formule générale qui donne la vitesse d'écoulement d'un fluide, sans aucune hypothèse sur sa nature, ni sur les conditions thermiques de l'écoulement, l'auteur établit plusieurs formules, dans lesquelles le poids spécifique est pris égal soit à celui qui correspond à la moyenne des pressions extrêmes, soit à la moyenne des poids spécifiques correspondant au quart et aux trois quarts des pressions extrêmes.

En appliquant ces formules, on trouve des chiffres extrêmement voisins de ceux que fournissent les formules de **M. Rateau** pour la vapeur d'eau saturée.

L'auteur conclut par un doute sur la légitimité de l'emploi des formules de la thermodynamique dans le cas d'écoulement d'un gaz ou d'une vapeur.

M. le PRÉSIDENT. — Vous avez entendu l'intéressant mémoire de **M. Doyère**, dont nous le remercions, lequel traite une question qui a été souvent discutée. Plusieurs d'entre vous ont, sans doute, sur ce point, des idées particulières, peut-être même ont-ils établi des formules. C'est un des sujets qui ont donné lieu, après les hélices, au plus grand nombre de travaux.

Malheureusement, **M. Rateau**, qui était ici ce matin, n'est pas venu cet après-midi... N'aurait-il pas chargé **M. Bochet** de parler en son nom ?...

M. BOCHET. — Il m'a simplement dit qu'il viendrait cet après-midi.

Je crois d'ailleurs utile, pour ma part, de rappeler un fait expérimental, qui montre la faible influence de la durée de contact sur la transmission de la chaleur entre une paroi et un fluide en mouvement. Un tube métallique, maintenu pratiquement à température constante, peut être parcouru par un gaz, à des vitesses très variables, sans que la différence entre la température du tube et du gaz à la sortie varie très notablement. Ce fait bien connu se vérifie dans un grand nombre d'appareils, tels que les chaudières, et surtout les aéro-réfrigérants, qui doivent à ce phénomène leur puissance considérable.

M. Marcel Després a répété au mois de décembre 1903, devant la Société des Ingénieurs Civils, une expérience, qui démontre bien nettement la propriété que je viens de rappeler. De l'air traverse un tube chauffé extérieurement par de l'eau bouillante. La température initiale de cet air étant

À 8°, il sort du tube à la température de 84°, lorsque la différence de pression entre l'entrée et la sortie est de 1^{cm} d'eau. Si on élève cette différence de pression jusqu'à 1^m, la température de sortie ne s'abaisse que de 10°. L'augmentation énorme de la vitesse de l'air et de son débit n'a donc accru que dans une faible proportion la différence de température à la sortie.

M. Després a donné une explication hypothétique fort ingénieuse de ce phénomène, et l'a exprimée par une formule dans laquelle entre la longueur du tube.

L'activité de la transmission de la chaleur augmente donc très rapidement avec la vitesse du fluide, et par suite, malgré la faible durée du passage dans les tuyères d'une turbine, il pourrait y avoir une notable déperdition de chaleur. Mais il faudrait pour cela que ces tuyères fussent dans des conditions permettant la transmission rapide de cette chaleur. Comme il n'en est pas du tout ainsi une fois l'équilibre établi, la transmission de la chaleur est forcément très faible, et la détente dans les tuyères est très voisine de l'adiabatique.

M. le PRÉSIDENT. — Pour la rapidité de transmission de pression, on trouvera peut-être des indications dans les données relatives à la vitesse du son. Pour la chaleur, votre observation paraît très exacte; il y a très peu de changement de température, par conséquent très peu de déplacement de calorique.

M. EMANAU donne lecture de son mémoire :

Remarques sur l'étude expérimentale de la circulation dans les générateurs à vapeur ;

Par M. EMANAU,
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

L'auteur examine les dispositions à adopter pour expérimenter sur de petits modèles le fonctionnement des chaudières aquitubulaires, et les causes qui peuvent entraîner un désaccord entre le fonctionnement du modèle de laboratoire et la chaudière réelle, telles que les dimensions de l'appareil, l'absence de pression, le défaut d'uniformité de la chauffe et de conductibilité des parois, l'état des surfaces, etc.

M. le PRÉSIDENT. — Quelqu'un demande-t-il la parole ?

M. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — Il est bien évident que, d'une façon générale, les expériences faites sur des modèles en verre ne donnent pas des indications absolues sur ce qui se passe dans une chaudière métallique réelle, et cela pour deux raisons. D'abord, il y a une question de surface, et surtout une question de pression. On n'opère pas généralement au delà de la pression

atmosphérique sur des modèles en verre, pour raison de sécurité; cependant, en Angleterre, on a opéré sur des modèles de chaudières munis de vitres assez épaisses; eh bien, autant qu'on peut le voir, le phénomène se passe exactement de la même façon que dans les modèles en verre. Lorsque le tube débouche simplement au-dessus du niveau de l'eau dans le collecteur supérieur, si l'eau est propre, la circulation est pulsatoire; au contraire, avec de l'eau contenant ou de la sciure de bois ou du savon, ou simplement de l'eau saumâtre, on observe généralement une espèce d'émulsion analogue à celle qui sort d'un syphon d'eau de Seltz. Lorsque le tube débouche au-dessous du niveau de l'eau, il y a un entraînement continu. Dans ce cas, lorsqu'on chauffe trop fort, la circulation se transforme: au lieu d'être continue, elle devient pulsatoire. L'eau sort aux deux extrémités du tube, et, quand la période des pulsations est trop longue, vous avez une rupture. En un mot, les deux dispositifs fonctionnent normalement d'une façon inverse, et anormalement également d'une façon inverse. Le premier constitue ce que j'ai appelé *cycle non réversible*; le second *cycle réversible*, parce que dans certains cas la circulation change de sens, comme cela se passe dans les tubes des chaudières Yarrow.

Dans les nombreuses expériences que j'ai faites, j'ai vu que la nature de l'eau avait une influence extraordinaire. Il suffit quelquefois d'une petite pincée de sciure de bois dans un modèle assez grand, pour que la circulation change brusquement d'apparence et d'intensité, avec des dégagements tumultueux de bulles, et souvent rupture de l'appareil.

En ce qui concerne maintenant la nature des parois chauffées, une différence existe certainement; cependant, quand on fait l'expérience sur un tube de verre ou un tube de métal, à moins qu'ils ne soient excessivement sales, on voit à peu près les mêmes phénomènes.

Quant aux poids d'eau entraînés par rapport aux poids d'eau vaporisés, ils varient suivant les modèles. Je crois me rappeler qu'on obtient pour ce rapport les chiffres 100 et même 120; par conséquent on a un balayage complet.

M. DE MAUREOU. — Au sujet des tubes, il me paraît inutile de les avoir en verre. Ce qui a de l'intérêt, c'est de voir ce qui se passe aux deux extrémités du tube; or, pour cela, en ce qui concerne la chaudière ordinaire, il suffit de lui adapter un petit hublot. Pour les chaudières qui ont deux lames d'eau, il suffit d'avoir des regards dans ces lames d'eau, et ce regard n'a pas besoin d'avoir plus de 5^{cm} à 6^{cm} de diamètre. Quand l'eau n'est pas trop sale, le regard reste très clair, et l'on voit très bien ce qui se passe.

Le danger dans toutes les chaudières de ce genre, c'est que la production

de vapeur est en somme une explosion. Vous avez un point où il se produit une bulle de vapeur, qui va en grossissant, par conséquent poussant dans tous les sens, qui fait quelquefois sortir l'eau par le côté où l'on a indiqué la circulation par une flèche, mais qui la fait sortir très souvent aussi par le côté opposé. Il suffit d'avoir des regards aux deux bouts des tubes pour savoir ce qui se passe.

M. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — Je crois que l'intérêt du tube en verre est de voir ce qui se produit dans les régions médianes. En effet, voici comment se produit la circulation normale : il y a production, tout le long du tube, d'une quantité de bulles plus ou moins grandes, quantité qui va en augmentant, au fur et à mesure que l'eau est plus loin du point de départ de l'alimentation, mais, somme toute, il y a une espèce de jet analogue à un courant d'eau très rapide, dans lequel il y aurait des bulles d'air. C'est presque toujours comme cela que les choses se passent, surtout lorsque le tube est assez incliné, et que d'une façon générale la circulation est bonne ; si, au contraire, la circulation est insuffisante — c'est souvent le cas dans les chaudières dont les tubes sont peu inclinés — la circulation est assez indécise et peu intense.

La rupture commence presque toujours par la formation vers le centre, et non à l'extrémité, d'une bulle considérable formant tampon, qui chasse l'eau en amont et en aval. Quand l'explosion se fait très vite, il n'y a que demimal ; mais, quand le tampon dure assez longtemps, le danger commence, et la rupture du tube se produit.

Par conséquent, le tube en verre a l'immense avantage de permettre de voir ce qui se produit dans toute la longueur. C'est vers le centre, dans les expériences que j'ai faites, que j'ai toujours vu la rupture commencer par la formation d'une bulle considérable ; cela se comprend d'ailleurs, elle ne peut pas se former juste à l'extrémité de l'alimentation, puisque là l'eau est relativement ~~chaude~~ ^{froide}, et elle ne peut pas se produire facilement à l'extrémité supérieure, par la bonne raison que, si elle se produit à l'extrémité supérieure, la différence de contrepression est telle, que toute la masse est projetée violemment vers le haut. Il n'y a donc généralement rupture que lorsque la bulle de vapeur formant tampon se produit vers le centre ou dans la moitié inférieure ; alors, le mouvement général étant insuffisant pour entraîner toute la masse, c'est à ce moment que la surchauffe et la rupture se produisent.

M. BASSETTI. — Généralement la rupture se produit quand l'eau revient. J'ai fait quelques expériences, et je l'ai constaté.

M. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — Ceci est exact pour le verre.

M. DE MAUREOU. — En voyant les extrémités des tubes bouilleurs, on sait dans quelle direction ont lieu les courants d'eau et de vapeur, qui sont sujets à changer de sens; c'est une indication sur ce qui se passe à l'intérieur du tube. On voit également la nature des bulles de vapeur, et c'est un point essentiel que la vapeur se dégage en bulles très petites, qui se mêlent bien à l'eau; lorsque les bulles sont grosses comme des têtes d'épingles, tout va bien, tandis que les grosses bulles sont sujettes à donner des entraînements d'eau en soulevant brusquement le liquide.

La grosseur des bulles est une question de surface; il en résulte qu'elles ne se produisent pas de même sur un tube en verre et sur un tube métallique; le métal lui-même se comporte différemment suivant qu'il est gras ou oxydé.

J'ai cherché à étudier l'influence des surfaces, et pour cela il faut voir comment la vapeur se produit et se dégage sur une surface de chauffe de même nature que celle des chaudières; pour y arriver, j'ai disposé un tube métallique dans un manchon en verre avec de l'eau entre les deux, puis en lançant un jet de gaz à l'intérieur du premier tube, j'ai provoqué l'ébullition: il est fort intéressant de voir ce qui se passe.

Malheureusement je n'étais pas outillé pour pouvoir faire des expériences dans de bonnes conditions avec un tube incliné; les manchons en verre cassent facilement, on perd du temps à se les procurer, et l'on n'aboutit pas; alors je me suis contenté d'un appareil à air libre, qui a bien fonctionné. C'est une bouilloire composée d'un tube central métallique, évasé à sa partie inférieure et sur la base duquel vient s'adapter, sur une rondelle en caoutchouc, un manchon en verre de plus grand diamètre. En chauffant au gaz la partie évasée du tube, les produits se dégagent par le tube, qui forme cheminée, et l'ébullition se produit sur la surface chauffée; les bulles de vapeur se produisent de préférence en certains points; elles sont petites, et se dégagent très rapidement en formant une sorte de trombe, si la surface métallique est propre ou oxydée; si le métal est gras, elles sont plus grosses, et se détachent plus difficilement.

M. HART. — Au commencement nous chauffions à une allure de 160° de charbon par mètre carré de grille; nous avons réduit à 130°, cela va mieux, mais cependant nous avons souvent des boursouflures sur les tubes, et ces fistules se produisent toujours du côté de l'arrivée de l'eau, jamais du côté de la porte du foyer.

M. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — Cela correspond à ce que j'ai dit tout à l'heure: c'est que la grosse bulle ne peut pas se tenir longtemps dans la sortie.

M. DE MAUPEOU. — Dans les chaudières à longs tubes inclinés, **M. Bruhl**, à l'aide d'un ingénieux appareil, qu'il avait disposé à cet effet, a pu constater que dans certains tubes le courant ne se produisait pas dans le même sens que dans les autres, et faisait retour d'eau, comme dans les chaudières Yarrow.

M. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — D'une façon générale, je n'ai jamais vu dans la chaudière d'Allest certains tubes servir de tubes de retour; ce que j'ai vu assez souvent, ce sont des états d'équilibre s'établir dans certaines rangées de tubes, généralement vers la deuxième ou troisième, équilibre assez instable, et c'est à ce moment-là que vous aviez un incident. Mais je n'ai jamais vu un retour normal se produire, comme dans la chaudière Yarrow. Dans celle dernière, il y a un moment où le tube, qui était ascendant, devient descendant, lorsque le régime de chauffe varie. Aussi je préfère de beaucoup le retour extérieur très large, parce que vous avez toujours le même courant ascendant, bien que ce tube de retour ne soit pas indispensable.

M. DE MAUPEOU. — On a fait des expériences à Saint-Denis sur la chaudière Oriolle, et j'ai très bien vu à certains moments la vapeur sortir de la partie basse du tube. Le même fait a été observé par **M. Jolicard**, qui a étranglé les tubes du côté de l'arrivée, pour éviter le retour de la vapeur. A Saint-Denis, nous avons mis un écran à la partie supérieure du tube, et le courant de vapeur était plus régulier ensuite. Le développement d'une bulle de vapeur est analogue à une explosion; la pression qui se produit à l'intérieur se transmet au sein du liquide dans toutes les directions.

M. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — Il faut très peu de chose.

M. DE MAUPEOU. — Mais la grosse affaire, c'est d'avoir des surfaces convenables pour la production de la vapeur. J'ai fait à Cherbourg les essais des tout premiers torpilleurs, livrés par la maison Thornycroft; les chaudières de la première série fonctionnaient très bien; au début de la seconde série, nous avons eu des entraînements d'eau épouvantables. **M. Donaldson**, le beau-frère de Thornycroft, qui dirigeait les essais, a regardé la chaudière; il a vu que des tubes avaient une surface métallique brillante, il nous a demandé de lui donner un baquet d'eau sur le quai; il y a mélangé de la chaux et l'a laissée déposer, puis il a rempli sa chaudière avec cette eau de chaux, qui était bien claire. Il l'a fait bouillir ensuite à allure modérée, pendant assez longtemps, et il a visité sa chaudière; quand il a constaté qu'il y avait sur les tubes un léger dépôt blanc, qui cachait le brillant du métal, il a entrepris ses essais, et il n'y a plus eu le moindre entraînement d'eau.

M. le PRÉSIDENT. — Les mécaniciens de la Marine connaissaient bien autrefois ces faits ; leur premier soin, lorsqu'ils avaient une chaudière neuve, était de faire des extractions insuffisantes, et alors ils étaient sûrs de ne pas avoir d'entraînements d'eau. Il y avait 0^m^m,5 de dépôt sur les tubes, ce qui assurait le fonctionnement, mais n'améliorait pas la puissance calorifique.

M. LAUREUF. — Ce sont les petites bulles qui produisent la circulation la plus avantageuse. Ce qui reste à étudier, c'est le mode de production de ces petites bulles de vapeur. Tous ces phénomènes sont des phénomènes de capillarité, et ce sont ces phénomènes qui demanderaient à être approfondis. Lorsqu'on les aura bien observés, on connaîtra le mode d'ébullition qui donne la circulation la plus avantageuse. Il est évident que ce sont les petites bulles qui sont les meilleures, parce que la bulle de vapeur, lorsqu'elle est encore adhérente à la surface, déplace l'eau par son expansion ; par conséquent, il faut répartir cette expansion sur un grand nombre de bulles, et avoir des bulles nombreuses.

M. DE MAUPEOU. — Comme la tension superficielle d'un liquide est constante, plus le diamètre d'une bulle gazeuse plongée dans ce liquide est faible, plus la pression est grande ; il en résulte que les bulles de liquide ont pour origine des bulles d'air contenues dans le liquide ; c'est là que la vapeur se dégage le plus facilement, comme le montrent les belles expériences de M. Gernez. Dans son *Traité des Chaudières à vapeur*, M. Ch. Bellens a développé, beaucoup plus qu'on ne le fait généralement, les explications physiques relatives aux phénomènes qui se passent dans ces appareils, ce qui donne un intérêt particulier à cet ouvrage.

Lorsqu'on a bien purgé d'air la surface d'un tube de verre plein d'eau, on peut élever la température de plusieurs degrés (jusqu'à 112° environ), sans que l'ébullition se produise. La vapeur ne se dégage presque jamais qu'au contact de l'air, soit à la surface du liquide, soit sur des bulles d'air immergées ; on conçoit par suite qu'il est bon qu'il y ait de l'air à l'intérieur de la chaudière, sur les surfaces de chauffe.

Quand on introduit de la sciure de bois dans l'eau, on introduit en même temps des bulles d'air, qui facilitent l'ébullition. Il y a des inventeurs qui ont essayé de refouler de l'air dans la chaudière, pour faciliter la vaporisation, mais on a trouvé que cela avait des inconvénients.

M. HART. — Cela empêche beaucoup l'adhérence des dépôts.

M. DE MAUPEOU. — Du reste dans la bouilloire à enveloppe de verre, dont je vous ai parlé, et dans laquelle la vaporisation se produit sur le tube central en métal, on voit très bien que la vapeur se dégage toujours aux mêmes

endroits; ce sont les points où il y a de petites bulles d'air collées sur le métal ou sur l'oxyde.

M. le PRÉSIDENT. — Nous remercions M. Emanaud, d'abord pour son intéressante communication, ensuite pour la discussion à laquelle elle a donné lieu, qui doit avoir contribué à éclairer une question assez obscure, même avec l'emploi du verre. Il y avait accord sur la méthode employée entre M. de Maupeou et M. de Chasseloup-Laubat, parce que M. de Maupeou visait surtout des tubes verticaux, pour lesquels la grandeur de la bulle n'avait pas grande influence, et M. de Chasseloup-Laubat la formation de ces grandes bulles, qui atteignent des dimensions considérables par rapport au tube, ce qui ne peut se produire que dans le milieu et à l'intérieur du tube.

M. HART donne lecture de son mémoire.

Les paquebots du Midland-Railway ;

Par M. HART,

Ingénieur attaché au Service maritime du Chemin de fer du Nord.

M. Hart résume les résultats obtenus sur les paquebots *Antrim* et *Donegal*, à machines alternatives, et les paquebots *Londonderry* et *Manxman*, à turbines, qui font le service entre Morecombe (Lancashire), Belfast et l'île de Man. Il donne la description des appareils moteurs, les résultats des essais, et discute en détail les résultats constatés en service courant.

Il en conclut que les paquebots à turbines ont une réelle supériorité au triple point de vue du poids des moteurs, de la consommation de combustible et de la vitesse réalisée.

M. RATEAU. — Je désirerais demander quelques renseignements à M. Hart, notamment au sujet d'un bateau, *l'Onward*, sur lequel je viens de faire la traversée de la Manche, et qui me paraît excellent.

M. HART. — *L'Invicta* est encore meilleure. La *Queen* faisait 650 tours pour l'arbre central et 750 pour les arbres latéraux; *l'Onward*, 550 et 650, et *l'Invicta*, 450 et 550. Il y a par suite une amélioration constante au sujet du rendement des propulseurs, et par suite une économie de vapeur.

M. RATEAU. — Je voulais vous demander quelle est la vitesse de marche arrière. Ces bateaux réalisent pour la marche en avant 21 nœuds, je crois?

M. HART. — Ils font en moyenne la traversée à 20ⁿ,5, mais la vitesse réelle de marche est plus élevée, le coefficient de départ et celui d'arrivée ayant une importance considérable dans des traversées aussi courtes.

M. RATEAU. — Je crois que vous avez dit que la puissance de marche en arrière était environ 50 pour 100 de celle de la marche avant, mais le rendement des turbines de marche arrière est très mauvais ; aussi désirerais-je savoir ce qu'est pratiquement la vitesse de marche arrière.

M. HART. — Je n'ai pas les chiffres exacts pour les paquebots du Chatham Railway, mais je sais qu'aux essais la vitesse de marche arrière de la *Princesse-Clémentine*, paquebot Belge, a été de 16 nœuds.

Pour le paquebot à turbines *Dieppe*, de la ligne Dieppe New-Haven, la maison Denny Brothers, de Dumbarton, n'a pas voulu accepter la condition d'arrêt en 100 yards, mais la Fairfield Co l'a acceptée, et l'arrêt a été réalisé en donnant le stop devant un bateau mouillé, et en commençant à marcher en arrière devant un autre bateau mouillé 100 yards plus loin.

M. BEAUSIRE. — A quelle vitesse a-t-il été en marche arrière ?

M. HART. — A 12 nœuds.

M. BERTIN. — Pour les machines alternatives, on imposait l'arrêt dans la longueur du navire ; avec les turbines, on accepterait de s'arrêter en deux fois et demie cette longueur.

M. RATEAU. — Les paquebots à turbines entrent au port par l'arrière.

M. HART. — Il en est de même des paquebots à roues Anglais, mais cela tient à ce que, à l'entrée de Calais, au débouché des deux jetées, existe un courant traversier, qui, à certaines périodes de la marée, est assez rapide, de sorte que, pour ne pas exposer l'arrière à des coups de mer, les Anglais préfèrent entrer, par prudence, l'arrière en avant ; c'est un ordre général pour l'entrée à Calais.

M. RATEAU. — Gouverne-t-on aussi bien en arrière qu'en avant ?

M. HART. — Il y a un gouvernail aux deux extrémités du navire, de sorte qu'il n'y a pas de différence sensible.

M. RATEAU. — Entre-t-on à pleine vitesse en arrière ?

M. HART. — Il faut entrer à pleine vitesse, tant qu'on n'est pas à l'abri entre les jetées.

M. RATEAU. — Il m'a semblé que la marche en arrière était dans le voisinage de 9 à 10 nœuds ?

M. HART. — L'entrée, une fois le navire engagé dans les jetées, se fait à 10 ou 11 nœuds, si la mer est haute, et seulement à 10 ou même à 9 nœuds,

quand elle est basse, une trop grande vitesse empêchant alors le navire de gouverner.

M. RATEAU. — Les paquebots ne donnent pas, pour l'entrée en arrière, toute la puissance qu'ils peuvent développer.

M. HART. — Non, ils ne le peuvent pas, car la vitesse serait trop forte, et la carène d'eau entraînée trop grande pour la profondeur d'eau.

M. LAUBEUF. — Le croiseur Allemand *Lubeck* a battu en arrière en 1 minute 35 secondes. Quel est le temps nécessaire à la manœuvre sur les bateaux à turbines ?

M. HART. — Très court, la manœuvre de la valve du changement de marche étant très rapide. Le *Dieppe* a commencé, lors des essais, à battre en arrière 6 secondes après le commandement, et a commencé à culer 41 secondes après. Je dois ajouter que l'appareil de manœuvre de la *Princesse-Elisabeth* m'a paru beaucoup plus commode que celui des paquebots Anglais, et aussi plus rapide. En outre, il permet de régler la pression d'admission aux turbines, de manière à avoir un nombre de tours et par suite une vitesse donnés. Le Chef mécanicien du paquebot a établi une sorte de barème, qui lui permet de régler à peu près exactement sa vitesse, à l'aide du manomètre placé sur l'arrivée de vapeur de la turbine H. P.

M. RATEAU. — On peut faire cela avec toutes les valves.

M. HART. — Certainement, et il est plus facile de régler la pression d'admission de la vapeur que le volume admis, Mais c'est une question de rapidité.

M. BERTIN. — Vous savez quelle difficulté on éprouve, sur les machines ordinaires, à régler l'allure à l'aide d'une valve. Il faut régler l'ouverture du registre entre zéro et $\frac{1}{16}$.

M. RATEAU. — Les valves sont probablement de section réduite et d'écoulement faible.

M. BEAUSIRE. — On peut certainement régler par la pression au manomètre, et c'est ainsi que manœuvrent les mécaniciens en escadre. Ils savent que pour tel nombre de tours il faut une pression d'admission de tant.

M. MAUGAS. — M. Hart connaît-il la consommation par cheval des bateaux à machines alternatives ?

M. HART. — Non, je n'ai pas de chiffres précis.

M. MAUGAS. — Cela serait intéressant.

M. BEAUSIRE. — Quel est le poids par cheval ?

M. HART. — Le poids des appareils moteurs est, pour les machines alternatives, de 30^{ks} par cheval.

M. BEAUSIRE. — Pour les machines seulement ?

M. HART. — Oui, sans les chaudières.

M. BEAUSIRE. — Le gain que vous avez indiqué en faveur des turbines est sérieux.

M. HART. — Un compte rendu des séances des Civil Engineers donne des renseignements très intéressants sur les turbines et leur consommation ; je l'ai reçu ce matin.

M. DE MAUPEOU. — C'est une discussion par correspondance.

M. HART. — Oui, car il me serait difficile de discuter verbalement en Anglais.

M. le PRÉSIDENT. — Monsieur Rateau, vous avez pu prendre connaissance du mémoire de M. Doyère. Avez-vous quelques observations à nous présenter à son sujet ?

M. RATEAU. — Je n'ai pas grand'chose à dire ; cela me paraît être une discussion plutôt académique. Dans la première partie de sa communication, M. Doyère dit qu'on peut substituer à une formule que je considère comme exacte, une formule plus simple, et cette formule revient géométriquement à remplacer une courbe par une tangente ou par une corde ; c'est bien évident, *a priori*, à condition que l'on se borne à n'appliquer cette formule que dans des limites assez restreintes.

Nous connaissions déjà une autre formule donnée par M. Parenty, ingénieur des manufactures de l'Etat, qu'il appelle formule « elliptique », dans laquelle il y a sous le radical deux facteurs ; elle suit les expériences beaucoup plus loin qu'une expression du genre de celle de M. Doyère. Mais ces formules ne sont qu'empiriques, tandis que les relations tirées de la thermodynamique doivent être considérées comme aussi exactes que possible. Il faut, il est vrai, connaître les coefficients pratiques qu'elles renferment ; or, ceux-là se déduisent des expériences de Regnault ; si celles-ci ne sont pas exactes, s'il y a des erreurs, elles se répercutent sur le calcul que l'on fait.

Mais il y a, dans la communication de M. Doyère, un point qui me paraît assez intéressant à discuter, c'est l'opinion qu'il exprime au sujet de l'écoule-

ment adiabatique; j'avoue ne pas bien comprendre son objection; il dit :

« Mais une question se pose; est-il bien inattaquable d'admettre, comme on le fait *a priori*, que l'écoulement d'un fluide par une tuyère est forcément adiabatique? Cette hypothèse s'appuie sur le raisonnement suivant, formulé par M. Rateau : « Le fluide reste si peu de temps dans la tuyère, quelques « dix-millièmes de seconde, qu'il ne peut recevoir ou céder une quantité de « chaleur notable. » Il n'y a aucune raison pour ne pas dire aussi bien : « Le fluide reste si peu de temps dans la tuyère, qu'il n'a pas le temps de « changer de température. »

L'échange de chaleur entre le fluide et la paroi dépend principalement de trois facteurs : de la surface de la paroi avec laquelle le fluide est en contact, de la température et du temps que dure le contact ; si l'un de ces facteurs est nul ou voisin de zéro, l'échange est nécessairement très petit.

M. DE MAUPEOU. — M. Doyère semble admettre que l'écoulement de chaleur au travers du métal est considérable. Il faut que cette chaleur vienne de quelque part.

M. RATEAU. — Oui. Quand on fait passer par exemple de la chaleur à travers une paroi de chaudière, la quantité de chaleur est subordonnée à trois facteurs : la surface, le temps et l'écart de température ; eh bien, si l'un de ces facteurs, le temps, est très petit, il me semble qu'il est inattaquable de dire que la quantité de chaleur cédée est très petite.

Le raisonnement de M. Doyère, quand il dit que l'on pourrait aussi bien supposer que le fluide n'a pas le temps de se refroidir pendant la détente, ne me paraît pas logique. Le fluide qui change de pression change en même temps de température, molécule par molécule, si l'on peut dire. En somme, de l'hypothèse que l'on a faite — on est toujours obligé d'en faire en mécanique appliquée — on a déduit des formules qui concordent, je l'ai vérifié, à 1 pour 100 près.

Avons-nous le droit de tirer de là que l'hypothèse faite (détente adiabatique) est exacte ? Non, évidemment, mais c'est au moins une présomption.

M. DE MAUPEOU. — Il y a un fait qui prouve que l'écoulement de chaleur n'est pas très grand, c'est que plus une machine tourne vite, et moins l'enveloppe de vapeur a d'effet, parce que l'écoulement de la chaleur à travers l'épaisseur du cylindre est plus faible. Si la vitesse d'écoulement était grande, cet effet serait indépendant du nombre de tours de la machine. La vitesse d'écoulement, pour une différence de température donnée et une épaisseur de métal donnée, n'est donc pas excessivement grande.

M. RATEAU. — Les formules de la thermodynamique sont générales, et s'ap-

pliquent dans tous les cas, tandis que les formules que donne M. Doyère ne peuvent s'appliquer que dans un espace assez restreint. Dans les turbines de Laval, l'écoulement a lieu avec un rapport des pressions de 1 à 100. J'ai été témoin d'un cas où le rapport a été infiniment plus grand encore : dans une très intéressante machine frigorifique de M. Leblanc, on fait le vide jusqu'à une pression absolue de 3^{mm} et même 2^{mm} de mercure au moyen d'un appareil à jet, où la vapeur motrice s'écoule, en partant de la pression initiale de 10^{kg} par centimètre carré. Vous avez alors un rapport de 3.800. Les formules thermodynamiques peuvent encore s'appliquer, tandis que les formules empiriques précitées sont depuis longtemps hors de cause.

La formule que j'ai donnée est empirique, elle aussi, mais elle est déduite des relations thermodynamiques. Elle ne renferme que les pressions initiale et finale. Elle est de nature plus simple que celle de M. Doyère, qui contient le poids spécifique de la vapeur. Pour faire un calcul, il faut donc avec cette dernière avoir sous la main une table des poids spécifiques en fonction de la pression. C'est précisément pour éviter cette sujétion que j'avais cherché et publié ma formule.

M. BOCHET. — Je vous ai cité précédemment un fait expérimental au sujet de l'influence du temps sur la transmission de la chaleur à travers les parois.

Si l'on prend un tube maintenu à une température constante par un chauffage, tel que celui que peut produire une enveloppe d'eau à 100° par exemple ; si l'on met ce tube en communication avec un compresseur, et qu'on place aux extrémités du tube des appareils de mesure indiquant les dépressions ou les pressions à chaque extrémité, et enfin des thermomètres donnant la température du gaz à l'arrivée et à la sortie, l'expérience prouve que l'on peut faire varier les différences de pression entre quelques millimètres et quelques centimètres d'eau, c'est-à-dire faire varier la vitesse d'écoulement du gaz dans des proportions considérables, et que cependant la différence de température entre l'entrée et la sortie reste pratiquement constante. Il en résulte donc que, si l'on active le passage du fluide au contact de la paroi, la rapidité de la transmission croît sensiblement proportionnellement à cette vitesse.

On observe dans les chaudières des phénomènes qui vérifient cette observation ; d'autre part, dans les appareils appelés aéro-réfrigérants, dont la puissance spécifique est, en quelque sorte, illimitée, si la circulation d'eau est suffisante, on peut augmenter le passage de l'air autant qu'on le veut, et la différence de température entre l'air et l'eau à la sortie reste sensiblement constante.

M. le PRÉSIDENT. — Je crois que l'observation de M. Bochet n'infirme en

rien ce qui a été précédemment dit ; par conséquent nous pouvons clore la discussion sur ce point.

Monsieur Laubeuf, pouvez-vous lire votre note sur le travail à la tâche ?

M. LAUBEUF. — Je n'ai pas obtenu l'autorisation de lire mon mémoire. Ce n'est pas la première fois que pareille chose m'arrive, c'est la seconde. Je voudrais appeler sur ce fait l'attention de l'Association, et lui faire remarquer que M. le Capitaine de frégate Abeille, Sous-Directeur de l'Ecole supérieure de la Marine, a tout dernièrement fait, dans la *Revue de Paris*, un plaidoyer très éloquent, dans lequel il a soutenu la thèse suivante : c'est que des officiers devraient être autorisés à publier, sous leur propre responsabilité, en les signant, toute espèce de mémoires concernant des questions de métier. Je mets à part, bien entendu, toute question personnelle, mais je crois cette thèse d'autant plus exacte, que, sans aller très loin, on trouve de l'autre côté de la frontière, en Allemagne, pays d'autorité cependant, l'autorisation pleinement donnée aux officiers de publier, sous leur signature et leur propre responsabilité, des ouvrages traitant des questions techniques.

M. DE MAUPROU. — Vous vouliez traiter la question du travail à la tâche ; on a considéré sans doute que c'était une question politique ?

M. LAUBEUF. — Je ne parlais pas des syndicats, bien entendu.

M. DE MAUPROU. — Seulement, c'est une question qui se trouve être politique, quoiqu'elle ne doive pas l'être ; c'est probablement pour cela qu'on vous a refusé l'autorisation.

M. LAUBEUF. — La première fois que j'ai eu un refus d'autorisation, en 1903, il s'agissait du travail des matériaux d'acier ; on m'a dit que je n'avais pas le droit d'attaquer dans ce mémoire des règlements de la Marine ; pourtant, je ne les attaquais pas, je constatais simplement qu'un règlement qui datait de dix-sept ans pouvait être utilement modifié. L'autorisation m'a d'ailleurs été accordée l'année suivante, moyennant certaines modifications de forme.

M. le PRÉSIDENT. — Est-ce un refus formel qui vous a été fait cette fois-ci ?

M. LAUBEUF. — Il m'a été répondu officieusement que l'autorisation ne me serait pas accordée. Je voudrais demander si l'Association Technique Maritime ne voudrait pas faire un peu sien le vœu de M. le Commandant Abeille.

M. le PRÉSIDENT. — Une association comme la nôtre est toujours par principe disposée aux publications dans le sens le plus libéral possible.

Je me rappelle très bien qu'il y a quelques années un ingénieur avait fait un travail, d'ailleurs des plus raisonnables, qu'il avait demandé l'autorisation

de publier ; on la lui a accordée très gracieusement, mais en lui faisant toutefois observer qu'il avait parlé dans son mémoire de la puissance navale de la Triplice ; on lui adressait l'objection que cela touchait à la politique, et on lui a fait remplacer le mot « Triplice » par les noms des trois puissances qui la constituent, ce qui a allongé d'une demi-ligne le travail d'impression. Le mot de « Triplice » constituait-il vraiment une introduction de la politique dans le mémoire !

M. MAUGAS. — Le système de l'autorisation, usité en France, a l'air d'impliquer une approbation ; le système Allemand consiste à dire : Un officier peut publier ce qu'il veut, cela n'engage que sa responsabilité personnelle.

M. LAUBEUF. — Je demande que l'incident soit relaté au procès-verbal de la séance, pour qu'il en reste une trace.

M. le PRÉSIDENT. — Il a été consigné par la sténographie.

M. le Président présente le mémoire de **M. Van Meerten**.

Note sur la chaleur spécifique de l'eau, son entropie et celle de sa vapeur ;

Par **M. VAN MEERTEN**,

Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite.

L'auteur résume les nombreuses polémiques auxquelles ont donné lieu les expériences célèbres de Regnault sur la chaleur spécifique de l'eau. Il rend compte des travaux du Dr Boscha, de Wüllner, Mac Farlane Gray, Rowland, Dieterici, et enfin de ceux de M. Howard Turner Barnes, et, tout en relevant des erreurs dans les tableaux donnés par Regnault, prouve l'exactitude de ses résultats expérimentaux.

Aux deux formules proposées par M. Barnes, pour calculer la chaleur spécifique de l'eau, M. Van Meerten propose de substituer une formule unique qui cadre avec les résultats des expériences de M. Barnes.

Enfin, M. Van Meerten cherche à donner à l'entropie, considérée au début comme une fonction abstraite, une nature concrète. De la formule indiquée par lui pour la chaleur spécifique, il déduit des formules donnant l'entropie de l'eau et celle de sa vapeur saturée, et présente les résultats de ses formules dans des tableaux numériques.

M. le PRÉSIDENT. — Nous sommes tous heureux d'envoyer à **M. Van Meerten**, dans un autre hémisphère, nos remerciements pour son intéressant travail ; nous en sommes d'autant plus heureux, qu'il justifie de critiques imméritées les résultats d'expériences d'un de nos plus grands physiciens, expériences qui ont servi de base à toutes les études sur la vapeur d'eau.

La séance est levée à 5^h35^m.

SÉANCES DU 9 MAI 1906.

Séance du matin.

PRÉSIDENCE DE M. HUIN.

La séance est ouverte à 9^h 50^m.

M. CLOAREC. — Messieurs, le mémoire que je vais avoir l'honneur de vous lire a été établi à la suite des résultats constatés pendant la guerre Russo-Chinoise, et en particulier à la bataille de Tsoushima. On a tiré des conclusions qui ont paru un peu prématurées; en réalité, il y a un fait qui domine toute cette guerre : c'est la différence de préparation entre les belligérants. Ce phénomène s'était déjà produit quelques années auparavant dans la guerre entre l'Amérique et l'Espagne; nous avons vu une nation tout à fait préparée, l'Amérique, battre une nation qui ne l'était pas, l'Espagne; dans la guerre Russo-Japonaise, nous avons vu une nation très bien préparée, le Japon, battre une nation qui ne l'était pas, la Russie; le résultat est donc que la nation qui a été battue l'a été par celle qui était préparée; je tiens à vous dire ces quelques mots avant de lire mon mémoire, car le défaut de préparation fausse les résultats qu'on peut tirer des faits, qui peuvent donner une apparence de raison à telle ou telle théorie en faveur de la cuirasse ou en faveur du canon.

M. Cloarec donne lecture de son mémoire.

De la diversité des calibres des pièces de marine ;

Par M. PAUL CLOAREC,
Directeur de la Ligue Maritime Française.

M. Cloarec expose la variation des courants d'idées, qui, après avoir, à la suite de la guerre Hispano-Américaine, conduit au développement de l'artillerie moyenne sur les cuirassés, tend aujourd'hui, à la suite de la guerre Russo-Japonaise, à la faire considérer comme peu efficace, et à faire adopter un calibre unique pour la grosse artillerie.

Sans arriver à une conclusion définitive, l'auteur signale que l'artillerie moyenne, si elle ne peut couler l'adversaire, peut cependant le désemperer au point de l'annihiler, et reprend son avantage dans un combat à petite distance, qu'un chef, sûr du moral de ses équipages, cherchera toujours.

M. le PRÉSIDENT. — L'Assemblée sera unanime à apprécier comme il convient cette intéressante communication d'ordre militaire, avec laquelle nous entrons dans un genre de questions, qui donnent lieu en ce moment aux discussions les plus passionnées, et des plus intéressantes pour tous ceux qui s'intéressent à la puissance navale de leur pays. Nous espérons que de cette communication, et de celles qui suivent, résultera un échange d'idées qui contribuera à éclaircir la controverse entre les partisans de l'unité de calibre et leurs adversaires.

M. HAUSER donne lecture du mémoire de **M. Williams** :

Les navires en construction aux États-Unis ;

Par **M. HENRY WILLIAMS**,
Ingénieur de la marine des États-Unis.

L'auteur indique les types de nombreux navires de combat actuellement en construction aux États-Unis : il expose qu'après avoir, à la suite de la guerre Hispano-Américaine, attaché une grande importance à l'artillerie moyenne, on parait préférer aujourd'hui n'installer sur les grands cuirassés que des canons de fort calibre (12 pouces), et ne conserver qu'une batterie de canons à tir rapide destinée à combattre les torpilleurs. Il indique également les idées qui ont cours sur certains points de détail : défaveur du type monitor ; suppression sur les cuirassés, puis réinstallation des tubes lance-torpilles ; discussion au sujet des blockhaus ; nouveaux dispositifs de transport des munitions ; suppression du doublage en bois sur les croiseurs ; mauvais résultats des bois ignifugés, etc.

M. le PRÉSIDENT. — Nous serons tous d'accord pour savoir beaucoup de gré à **M. Williams** de la bonne grâce avec laquelle il a bien voulu payer sa bienvenue dans notre Association. Il est toujours d'un haut intérêt de comparer les courants d'idées qui surgissent à l'étranger avec les nôtres, et **M. Williams** nous donne un tableau, aussi succinct que clair, de la direction dans laquelle la Marine des États-Unis, guidée en cela par l'expérience d'une guerre navale, dans laquelle elle a remporté de brillants succès, cherche à développer le progrès de ses constructions.

M. FERRAND donne lecture de son mémoire :

Les avaries de combat pendant la guerre Russo-Japonaise ;

Par **M. FERRAND**,
Ingénieur en chef du Génie maritime.

Muni de renseignements très circonstanciés sur les avaries qu'ont subies au combat les navires des deux belligérants, l'auteur les classe méthodiquement en avaries de cuirasses

de ceinture, de blockhaus, de tourelles, de ponts, de carènes, de superstructures, dues à l'artillerie; avaries de carènes, dues aux torpilles; il analyse en détail les circonstances dans lesquelles elles se sont produites. M. Ferrand conclut à la nécessité de chercher à protéger les fonds des navires de combat contre les torpilles automatiques, de blinder la base des cheminées, de protéger le personnel contre les gaz asphyxiants résultant de l'explosion des obus; il indique la nécessité de ne faire naviguer les bâtiments de combat que dans les conditions de combat, c'est-à-dire sans une surcharge de combustible, qui annule la protection du cuirassement de ceinture, et d'éviter le développement des superstructures, en supprimant toutes les installations, qui n'ont pour raison d'être que le confort de la navigation en temps de paix.

M. le PRÉSIDENT. — Nous remercions beaucoup M. Ferrand d'avoir bien voulu récolter une pareille quantité de documents, qui seront tous extrêmement précieux, et dont chacun pourra tirer des conclusions; M. Ferrand en a déjà tiré un certain nombre, peut-être y en a-t-il qui appelleraient la discussion; j'ouvre donc la délibération sur l'ensemble des mémoires que nous avons entendus ce matin.

M. CLOAREC. — Je voudrais appeler votre attention sur la question des distances de combat, dont M. Ferrand a longuement parlé. Si les Japonais se sont tenus à des distances très grandes au début, et si, en particulier le 10 août, ils se sont battus de très loin, cela tenait non pas à ce qu'ils avaient pour tactique de tirer de loin, mais parce qu'ils étaient amenés à ménager leurs bateaux. Au contraire, à Tsoushima, comme des deux côtés on jouait ses derniers atouts, les distances ont considérablement diminué, et les Japonais en sont arrivés à se battre à 800^m. Donc, toutes les fois qu'on voudra avoir des résultats décisifs, on se battra toujours de près. Je crois que les personnes, qui affirment que désormais on se battra de loin, se trompent; les Japonais ont été amenés au début à se battre de loin, parce qu'ils avaient une escadre à conserver pour l'opposer à l'escadre Russe de la Baltique; ils ont été extrêmement prudents, mais, le jour où ils n'ont plus eu ce motif de prudence, ils se sont battus à petite distance.

A propos des blockhaus, M. Ferrand a dit une chose très juste, c'est qu'il faut les modifier profondément. Il nous propose de les fermer complètement, et de ne laisser que quelques petites fenêtres cuirassées; je crois qu'il y a cependant une considération, qui doit intervenir: c'est la nécessité pour le commandant de voir. On est là évidemment en présence d'une difficulté malaisée à résoudre, mais il ne faudrait pas que, sous prétexte de faire de la protection, on arrivât à mettre le commandant dans l'impossibilité absolue de se rendre compte de ce qui se passe à l'extérieur; il y a là une question de mesure, sur laquelle on peut appeler l'attention des ingénieurs.

M. FERRAND. — Je crois qu'il faut mettre l'homme qui manœuvre le gouvernail à l'abri d'une façon absolue; je considérerais par exemple comme possible de mettre une espèce de capot blindé au-dessus du timonier; on communiquerait avec lui par des tuyaux acoustiques. Je mettrais très bien le commandant à l'extérieur.

M. CLOAREC. — Les commandants des bateaux Russes affirment qu'il était impossible de rester à l'extérieur.

M. FERRAND. — ... ou alors dans un second blockhaus; mais ce que je crois tout à fait dangereux, c'est le grand blockhaus que nous avons actuellement, où nous réunissons tout le personnel de direction.

M. HART. — Est-ce qu'on n'a pas étudié la question du blockhaus à deux étages?

M. DE MAUPEOU. — Pour les blockhaus, je crois qu'il y a une cause d'avaries qu'il est facile d'éviter. On a parlé, pour les couvrir, de la nécessité de se prémunir contre la pluie, chose tout à fait secondaire; si un projectile frappe la face verticale du blockhaus, il ricoche tangentiellement, rencontre la toiture, éclate, et des débris pénètrent à l'intérieur. C'est une disposition à éviter, car je crois qu'elle a donné naissance à beaucoup d'avaries. C'est un petit détail auquel on n'avait pas pensé, et qui certainement a une grande importance.

M. FERRAND. — Je crois qu'on n'arrivera à rien d'absolument parfait; étant donnée la pluie d'éclats qui se produira, il en entrera toujours quelques-uns dans le blockhaus. Il ne s'agit pas de projectiles de rupture, il s'agit d'éclats; je ne crois pas au danger des projectiles de rupture pour le blockhaus, mais les éclats d'obus font une gerbe qui pénètre partout.

M. DE MAUPEOU. — Surtout si vous ramassez les éclats par ce malheureux toit...

M. FERRAND. — Les éclats dont il a été parlé ne venaient pas de projectiles ayant éclaté contre le blockhaus.

M. DE MAUPEOU. — Mais ils entraient à cause de la toiture. C'est un détail qui paraît sans importance, mais qui en a une réelle.

M. le PRÉSIDENT. — C'est un point fort intéressant. Chacun peut réfléchir à la meilleure forme à donner à la couverture du blockhaus, et je crois que cette question pourrait donner lieu à une discussion étendue. Déjà, il y a quelques années, cette question a été mûrement étudiée par le Conseil des Travaux; elle

a été l'objet d'un échange d'opinions très diverses; on a émis notamment l'opinion, dont on a parlé incidemment tout à l'heure, qu'il conviendrait de placer l'amiral en dehors du blockhaus.

M. DE MAUPEOU. — Le résultat a été déplorable. Dernièrement un des membres du Conseil des Travaux a été à même de voir un blockhaus qu'il avait étudié quand il était membre de ce Conseil, et il l'a trouvé très défectueux. On avait fait deux compartiments, le commandant voyait sur l'avant, et l'amiral sur l'arrière.

M. FERRAND. — On peut placer le commandant à l'extérieur.

M. DE MAUPEOU. — Je crois que le blockhaus à deux étages est plus pratique. Quant au compartimentage d'un blockhaus à un étage, il est très défectueux.

M. le PRÉSIDENT. — Un membre du Conseil des Travaux, qui avait en général des opinions très originales, avait soutenu que l'amiral, le commandant, etc., devaient se tenir en dehors du blockhaus.

M. DE MAUPEOU. — Ce n'est pas l'opinion qui a prévalu.

M. CLOAREC. — Ce serait très désirable, à la condition que ce fût possible.

M. le PRÉSIDENT. — J'aurais désiré trouver dans le mémoire de M. Ferrand quelques indications sur le nombre des hommes, qui ont pu être tués par les éclats sur les bâtiments.

M. FERRAND. — Je n'ai pas traité du tout cette question. Le nombre des hommes tués est en général très faible; ce sont par exemple les hommes des blockhaus, des mâtures, en dehors de ces postes il y eut peu de monde tué. Je ne me suis pas placé à ce point de vue dans mon mémoire.

M. le PRÉSIDENT. — Avez-vous des données sur l'influence de la pluie d'éclats sur les hommes isolés?

M. FERRAND. — Il y a des projectiles qui ont tué 15 ou 20 hommes, cela a été dit dans les relations de combat.

M. DE MAUPEOU. — Au point de vue de la vitesse, M. Ferrand a dit que les cheminées étaient en somme la seule chose qu'on ne protégeait pas, il a donné comme exemple la perforation des cheminées du *Cesarevitch*; il expliquait qu'avec 80^{ix} on aurait pu protéger les cheminées jusqu'à une certaine hauteur. Je crois que sur nos 4500^{ix} de blindage on pourrait en trouver 80 pour protéger les cheminées, ce ne serait pas un sacrifice exagéré. Quant à la solution préconisée par M. Ferrand d'une cheminée unique télescopable

avec des conduites horizontales aboutissant aux chaudières, je ne la crois pas pratique ; cela ferait une atmosphère asphyxiante autour du navire, quant au combat la cheminée serait fermée.

M. LAUBEUF. — Nous n'avons pas assez de place en hauteur pour qu'on puisse en prendre pour faire des conduites de ce genre.

M. le PRÉSIDENT. — Je ne vois pas bien une couche de fumée entourant le bâtiment de toutes parts, et celui-ci continuant à combattre.

M. LAUBEUF. — Je verrais plutôt la solution dans la multiplication des cheminées ; il y a eu un navire qui sur cinq cheminées en a eu une avariée, il a pu continuer facilement sa route. Il est possible de blinder la base des cheminées, mais il y a, avant tout, une chose facile à faire, c'est d'habituer le personnel à se servir du tirage forcé d'une façon permanente ; or on ne s'en sert que d'une façon occasionnelle et, quand on veut l'employer, il fonctionne mal ; si on était habitué à s'en servir toujours, il fonctionnerait bien.

M. le PRÉSIDENT. — J'ai constaté qu'il est possible d'habituer le personnel de chauffe au tirage forcé ; quand le tirage forcé fonctionne bien, les hommes ne souffrent pas, au contraire, ils se trouvent dans de meilleures conditions que dans la plupart des chambres de chauffe ouvertes ou à demi-ouvertes, où l'on fait fonctionner des ventilateurs, soi-disant pour activer le tirage. Je crois que ceci est une mauvaise pratique, et qu'il convient de soigner les installations pour faire du bon tirage forcé dans les meilleures conditions possibles ; tout le monde y trouvera de très grands avantages, et cela donnera de l'aération dans les locaux qui n'en ont pas.

M. DE MAUPEOU. — Ce qui empêche l'évacuation de la fumée, quand la cheminée est atteinte par un projectile, c'est qu'il y a de grands pans de tôle qui sont rabattus à l'intérieur ; si la tôle était fragile elle se briserait, et il resterait simplement un trou ; c'est le seul cas, je crois, où la fragilité de la tôle puisse être avantageuse.

M. FERRAND. — La protection par la ceinture de blindage est très peu complète, vous aurez toujours des éclats. En blindant une partie de la cheminée vous n'évitez qu'une chose, c'est que les gaz se répandent dans la batterie ; mais, si vous êtes atteints par un projectile qui éclate en haut de la cheminée, les éclats tomberont toujours verticalement dans la chaudière.

M. LAUBEUF. — Alors, il faut mettre une grille.

M. FERRAND. — Les grilles ont été relativement peu efficaces.

M. LAUBEUF. — Sur le *Gromoboi* il n'y a qu'un projectile qui ait éclaté, et il est tombé sur la grille.

M. FERRAND. — Oui, mais les projectiles des Japonais étaient très médiocres, une simple toile pouvait les arrêter.

M. DE MAUPEOU. — Autrefois la cheminée était placée au-dessus de la chambre de chauffe ; il faudrait peut-être la dévier légèrement, ce ne serait pas une grosse difficulté.

M. LAUBEUF. — Il y a un point sur lequel je voudrais dire un mot, c'est celui des torpilles automobiles. M. Ferrand dit qu'elles se sont montrées presque constamment inefficaces. Il ne faut pas perdre de vue que les torpilles Japonaises sont des torpilles de 305^{mm}, qui ont une charge qui n'est même pas de 30^kg ; il y en a aussi de 385^{mm}, c'est-à-dire de 42^kg ; ces torpilles se tirent de très près, difficilement à 300^m ou 400^m ; or les Japonais les ont toujours tirées de très loin. Il ne faut pas comparer ces torpilles avec celles de 450^{mm}, qui ont 72^kg d'explosif, et dont on peut augmenter la charge, et à plus forte raison avec les torpilles Américaines, qui pourront porter 112^kg d'explosif. Il ne faut pas conclure des résultats obtenus à l'inefficacité des torpilles ; c'est, en résumé, le coup de torpille du 9 février, qui a rompu l'équilibre des forces Russo-Japonaises, et été le point initial de la défaite des Russes.

M. le PRÉSIDENT. — Je crois que ce n'est pas au point de vue technique, que ce coup a produit les désastres les plus considérables.

M. FERRAND. — La torpille Whitehead, à égalité de poids, a moins d'efficacité que la torpille automatique. La torpille Whitehead employée contre le *Cesarevitch* n'a pas produit un résultat bien brillant ; ce navire a été attaqué en pleine paix, et son avarie a été relativement peu importante. On a toujours dit que la torpille Whitehead produirait des avaries analogues à celles que nous constatons aujourd'hui pour la torpille automatique ; non, un coup de torpille Whitehead fait une avarie grave, sérieuse, force le navire à rentrer au port, mais enfin ce n'est pas ce que l'on avait dit d'elle ; que de nouvelles torpilles avec de fortes charges causent des avaries extrêmement importantes, c'est possible, mais je n'en suis nullement convaincu.

Quand on fait un essai d'explosion de torpille Whitehead, on amarre un cône sur un navire, et on le fait exploser ; alors on a des effets magnifiques ; mais si on lance une torpille, l'explosion est beaucoup moins forte. Il est fort possible qu'une torpille de 112^kg fasse beaucoup plus d'effet que la torpille Japonaise, mais fera-t-elle autant d'effet que la torpille Japonaise automa-

tique? Je ne sais pas. On parle de torpilles lancées à 1700^m ou 1800^m; j'avoue que je ne vois pas du tout des torpilles lancées à cette distance; quiconque a lancé des torpilles devient très sceptique à cet égard.

M. MAUGAS. — On ne parle pas de lancer des torpilles à 1700^m ou 1800^m sur un bâtiment isolé; ce serait illusoire. On envisage le tir contre une escadre en ligne de file, et l'on fait ce raisonnement: nous allons lancer des torpilles sans but précis, mais comme les bâtiments sont à quelque cent mètres seulement les uns des autres, nous aurons des chances d'en toucher un.

M. FERRAND. — La conclusion, c'est que le torpilleur est un bateau qui tend à disparaître; c'est un peu ce que je crois d'ailleurs. Quant au rebondissement de la torpille...

M. MAUGAS. — Je ne vois pas bien une torpille ayant la force de rebondir.

M. FERRAND. — Il suffit de quelques centimètres pour modifier grandement le résultat.

M. le PRÉSIDENT. — Dans une discussion aussi importante, je crois que je serai l'interprète de toute notre Association en demandant à M. l'Amiral Gervais, qui nous fait le très grand honneur d'assister à cette séance, de vouloir bien nous donner quelques enseignements, qu'il est plus apte que personne ici à nous fournir, sur les conclusions à tirer de tout ce que nous avons entendu; je lui serai extrêmement reconnaissant de vouloir bien prendre la parole.

M. L'AMIRAL GERVAIS. — Je n'ai pas le moindre mot préparé pour répondre à ce qui vient d'être dit, car je n'ai pas condensé mon opinion sur des faits, qui, je crois, sont assez vaguement connus. Il y a une chose certaine, c'est que tout le monde a tiré des enseignements de la guerre Russo-Japonaise, et que ces enseignements sont très souvent contradictoires; il faut donc bien conclure que nous sommes mal informés sur les événements eux-mêmes, et surtout sur les points de détail, de nature à donner aux informations leur autorité absolue.

Je reconnais que toutes les nations sont en ce moment-ci en train de chercher une nouvelle voie, mais je ne veux pas dire qu'elle soit de droit dans les conclusions tirées; il en est une qui semble ressortir des faits actuels, c'est celle de la diminution, sinon de la suppression de la moyenne artillerie, et de son remplacement par une artillerie très lourde et à peu près unique. C'est un fait que nous constatons; je crois qu'il est très discutable. Je ne veux pas méconnaître que la valeur d'une grosse artillerie soit très considérable, je ne veux pas même méconnaître que la grosse artillerie soit

indispensable sur un navire, mais il y a un phénomène d'ordre moral encore plus que d'ordre matériel, auquel j'attache une importance extrême ; c'est une question d'opinion, ce n'est pas une question de vérification absolue ; je crois que l'influence morale d'un tir précipité, d'une nappe de feu, comme on a dit, arrivant sur un bâtiment, et mettant tout le monde dans une atmosphère tout à fait particulière de flamme, de fumée, d'éclats, de bruit, est de nature à compromettre singulièrement la défense du bâtiment qui est l'objet d'une attaque de cette sorte, et que, par conséquent, oublier que la densité du feu est une nécessité, ou tout au moins a une importance considérable, c'est peut-être aller trop loin. Je crois donc qu'un bâtiment doit posséder à la fois des engins de destruction absolue tels que les pièces de grosse artillerie, mais il ne doit pas négliger d'avoir une batterie d'artillerie moyenne, à tir véritablement rapide, dans des conditions d'efficacité complète, et qui puisse amener un résultat que je crois très nécessaire, celui d'une activité de feu très considérable, et par conséquent d'un nombre de coups, au but, très considérable également, de nature à influencer le moral du personnel.

Je suis parfaitement convaincu que le moral a joué dans la bataille de Tsoushima, comme dans toutes les batailles connues, un rôle infiniment plus prépondérant que celui de l'action matérielle. Je crois que l'état moral des canonnières Japonais, qui sont doués de par leur nature propre d'un sang-froid tout spécial, qui d'ailleurs étaient éduqués dans ce sens, et pour lesquels tout l'entraînement se concentrait vers cette sauvegarde du sang-froid des hommes, je crois que cet état moral des canonnières Japonais a été pour beaucoup dans leur succès. De plus, leur tir était beaucoup plus rapide que celui des canonnières Russes ; par conséquent ils recevaient moins de coups, et ils étaient mieux préparés à les recevoir par le fait de leur éducation morale ; j'estime que cela a été pour une grande part le motif du résultat définitif.

Je ne crois pas, comme le disait tout à l'heure M. Cloarec, que jamais combat se soit résolu de loin ; je ne puis pas admettre que les actions à très grande distance puissent amener de résultats décisifs ; je pense que, de toute manière, il faudra arriver au combat, je ne dirai pas corps à corps, mais rapproché. Je ne veux pas nier qu'il faille commencer le combat, étant donné que l'efficacité du tir peut se produire de plus loin qu'autrefois, à une grande distance ; il est sûr qu'une certaine prédominance de feu peut résulter de ce qu'on a commencé le combat à une grande distance, parce qu'on a déjà influé sur le moral de l'adversaire, mais je ne crois pas que cela puisse donner une solution. Le 10 août, on s'est battu de loin, le résultat a été à peu près nul ; si la bataille de Tsoushima a produit des résultats tout à fait différents, c'est parce qu'on s'est rapproché infiniment plus, parce que le tir a été efficace,

et je crois que dans cette efficacité de tir il faut faire entrer en très grande ligne de compte la valeur de la rapidité du tir et de la nombreuse artillerie moyenne qu'avaient les Japonais, 150 pièces, si je ne me trompe, contre 70 ou 80. Il est à remarquer d'ailleurs que les Russes avaient plus de grosse artillerie, et cependant il est bien certain que ce ne sont pas les canonnières Russes qui ont obtenu la supériorité. Je dis donc que, pour le moment, à moins que de nouveaux facteurs n'interviennent, je ne crois pas qu'il faille négliger l'artillerie moyenne; je pense que les deux éléments sont indispensables, que vous devez avoir d'une part une artillerie d'une perforation telle, que vous forciez l'adversaire à se défendre par des cuirassements épais ou des moyens de protection très développés, par conséquent très lourds, mais que vous ne devez pas négliger l'effet moral à retirer d'une artillerie moyenne nombreuse, bien servie et bien préparée.

Le cuirassé d'escadre doit être à la fois un engin d'attaque et de défense; pour se battre il faut commencer par vivre, par conséquent il faut avoir une protection qui vous permette de durer le temps nécessaire pour vous défendre. On dit : je me défends du feu par le feu; c'est exact, mais à la condition que vous puissiez résister au feu qui vous est imposé; par conséquent la question défensive ne doit jamais être négligée. Je crois qu'en ce moment-ci il y a une légère tendance à aller trop loin dans la voie de la diminution de la défensive, au moins en ce qui concerne les cuirassements. Evidemment nous sommes obligés d'appliquer la défensive à beaucoup de choses auxquelles nous n'avions peut-être pas songé d'une façon suffisante antérieurement; on parle de protéger les cheminées, de se protéger contre les torpilles automobiles, même contre les torpilles de blocus, contre les mines sous-marines — ce qui me paraît relativement difficile d'ailleurs; — tout cela amène des augmentations de poids. Je crois cependant qu'il faut être excessivement prudent dans la diminution de protection des cuirasses, parce qu'enfin, comme je vous le disais tout à l'heure, il faut d'abord commencer par vivre avant de pouvoir se battre.

Ma conclusion serait donc que le navire devrait avoir ces deux qualités primordiales : celle de l'offensive, mais en comprenant dans l'offensive des pièces de deux façons; il y a deux buts à atteindre, parfaitement distincts et, à mon sens, également indispensables l'un et l'autre : la perforation, en un mot la destruction des moyens matériels qui sont opposés par l'adversaire, et d'autre part l'intensité du feu obtenue par les pièces d'artillerie moyenne ayant déjà une efficacité contre certains cuirassements, et ayant un tir très accéléré. Voilà pour l'offensive. Quant à la défensive, je le répète, il faut qu'elle soit très sérieuse. Il ne faut peut-être pas s'en tenir aux indications que M. Ferraud nous a données tout à l'heure, elles n'ont peut-être pas toute

la valeur qu'il a semblé leur attribuer, car, si l'on admettait ce qui a été dit, il en résulterait que la cuirasse serait complètement inutile. Eh bien, je ne le crois pas ; je suis convaincu que la cuirasse doit même être renforcée par un compartimentage très serré. C'est, du reste, la voie dans laquelle nous sommes entrés depuis d'assez longues années. Je ne crois pas que la cuirasse doive être supprimée ; il est certain que, si les projectiles peuvent éclater au dehors, du fait que la cuirasse s'oppose à leur action interne, c'est un bénéfice infiniment grand. Maintenant, il est incontestable aussi que cette cuirasse doit avoir un développement suffisant pour assurer la stabilité du bâtiment ; c'est, du reste, ce qui a été réalisé dans les bâtiments modernes Français. Je crois également qu'il faut que la cuirasse soit étendue sur toute la ceinture ; c'est l'idée Française, qui n'a jamais varié, et qui doit être maintenue avec la plus grande énergie. De tout cela il résulte que vous devez avoir une grande puissance offensive et une grande protection.

Reste la troisième question, celle de la vitesse.

J'ai toujours cru, toujours dit et je répète encore, malgré le courant d'opinion qui se manifeste dans le sens contraire, que la vitesse doit être un facteur, je ne dirai pas subordonné, mais enfin un facteur dont il ne faut pas faire la cheville ouvrière, qu'il ne faut pas mettre au premier rang, de façon à lui sacrifier le reste. Je crois que la vitesse à laquelle nous nous étions tenus jusqu'à présent, de 18 nœuds, mais 18 nœuds véritables, sérieux, réels, obtenus sans difficultés grandes, est une vitesse qui permet à un bâtiment cuirassé d'arriver à remplir son rôle tout entier dans le combat.

Par conséquent, je crois que si l'on est obligé, en raison des nécessités de la défense et de l'offensive, de faire certains sacrifices, d'autre part, pour ne pas atteindre des tonnages infiniment grands, c'est encore du côté de la vitesse qu'il faut se limiter, mais en se limitant dans les conditions que j'indique, c'est-à-dire en n'admettant qu'un minimum de 18 nœuds véritables.

Quant à la question du charbon, en ce qui concerne le rayon d'action, évidemment c'est une question qui est très séduisante ; plus on aura de charbon à bord, plus on aura la faculté de se passer de ravitaillement et plus on sera ravi ; il n'y a pas de commandant d'escadre qui n'ait éprouvé des difficultés de ravitaillement, même en temps de paix, par conséquent combien plus cela est difficile en temps de guerre ! Mais enfin on peut dans une certaine limite et avec des précautions arriver à remplacer le charbon consommé.

Je ne crois donc pas qu'il faille donner au rayon d'action une importance excessive ; je considère qu'il faut mettre en avant la puissance offensive, puis la puissance défensive, enfin la vitesse et le rayon d'action corollaire. Qu'est-ce qui restera de toutes ces déterminations, d'ailleurs assez vagues, au point de vue de la capacité de tonnage d'un cuirassé ? Je l'ignore, c'est à MM. les

Ingénieurs de conclure. Seulement ce qu'il faut, et c'est un point qui est absolument à retenir de ce que disait tout à l'heure M. Ferrand, c'est que le bâtiment de guerre soit conçu pour être un bâtiment de guerre et uniquement un bâtiment de guerre, et que tout ce qui est confort, habitudes de temps de paix, tout ce qui, en un mot, est du luxe soit énergiquement supprimé.

Nous avons malheureusement trop, en France, sacrifié à ces questions d'intérêt personnel et de confortable; ce ne sont que cuisines, salles spéciales, chambres de bain, je ne sais quoi, sans compter les divers kiosques, etc.; tout cela ce sont des choses encombrantes, des motifs d'incendie possible, ce sont des superstructures qui ajoutent du poids. Eh bien, le bâtiment de guerre doit être ras comme un ponton, il ne doit y avoir comme grand luxe que celui du vide. Nous avons, je crois, beaucoup à faire sous ce rapport; il faudrait absolument que les officiers de marine les premiers, les amiraux en tête, donnassent l'exemple, et s'habituaient à vivre à bord en temps de paix comme on vit en campagne et non pas comme chez soi. Je suis convaincu que, si l'on voulait se donner la peine de supprimer à bord des bâtiments tout ce qu'on ajoute peu à peu, parce que c'est commode, parce que c'est agréable, parce que cela répond à certains desiderata, mais toutes choses qui ne sont pas nécessaires, on obtiendrait des résultats extraordinaires; j'en suis persuadé parce que je l'ai vu par moi-même. Je crains que la tendance actuelle ne soit précisément au développement de toutes ces petites habitudes intimes, agréables, si vous voulez, mais tout à fait fâcheuses au point de vue d'abord du matériel lui-même et même au point de vue du personnel, qu'elles habituent à une existence qui n'est pas celle à laquelle il doit être rompu d'abord. (*Applaudissements.*)

M. le PRÉSIDENT. — Nous vous remercions infiniment, Amiral, d'avoir bien voulu nous donner tous ces enseignements; chacun de nous y réfléchira beaucoup, ceux qui sont chargés de faire les bâtiments en tireront le plus grand profit, et la puissance navale de la France également.

La séance est levée à midi 5^m.

Séance de l'après-midi.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 2^h5^m.

M. HART donne lecture de son mémoire.

Note sur le changement des roues des paquebots Nord et Pas-de-Calais;

Par M. HART,

Ingénieur attaché au Service maritime du Chemin de fer du Nord.

Les paquebots *Nord* et *Pas-de-Calais*, qui font le service entre Calais et Douvres, étaient munis de roues de grandes dimensions, fortement immergées, dont le fonctionnement était défectueux.

M. Hart expose de quelle manière il a établi les dimensions de nouveaux propulseurs plus petits, et indique les résultats considérables résultant de cette substitution, tant au point de vue de la navigation que de l'économie de combustible.

M. HART. — Je voudrais ajouter un mot sur un point effleuré ce matin par M. Laubeuf. Il a parlé de la nécessité d'habituer les chauffeurs au tirage forcé. Je suis absolument de son avis, et crois que, pour obtenir de bons résultats, il faut un assez long entraînement permettant d'avoir une forte discipline de la chauffe. Sur nos paquebots, qui fonctionnent toujours au tirage forcé, et sur lesquels j'ai été obligé de reprendre les chauffeurs Français du London Chatham Railway, il a fallu près d'un an et demi pour obtenir une chauffe régulière et méthodique; les hommes ne comprennent pas la nécessité de charger fréquemment et en couche mince. Il a fallu faire des exemples, mais nous sommes arrivés aujourd'hui à des résultats tout à fait satisfaisants, qui ont d'ailleurs frappé l'Amiral Bienaimé, lorsqu'il est allé représenter la France aux obsèques de la reine Victoria. Les commandements se font au sifflet. Le second mécanicien, qui dirige les chauffeurs, indique le nombre de pelletées à mettre par charge, et les premiers chauffeurs surveillent l'étagage du combustible sur la grille. Aujourd'hui, l'épaisseur du combustible est réduite à 0^m,12 ou 0^m,15 sur la grille, et les chauffeurs, qui primitivement marchaient avec une couche de 0^m,25 à 0^m,30, ont reconnu que la méthode, bien loin d'augmenter leur travail, les fatiguait moins, et évitait bien des accidents.

La discipline est indispensable pour l'emploi du tirage forcé en vase clos, en raison des incidents inévitables, ruptures de tubes de niveau d'eau, mauvais fonctionnement de la robinetterie, rupture de tubes de chaudières, etc., lesquels agissent fortement sur le moral des hommes, qui se savent enfermés. Dans une circonstance, la rupture simultanée de six tubes de niveau, remplissant la chaufferie de vapeur, a nécessité l'emploi de la force, pour empêcher les hommes de quitter leur poste, en attendant que les robinets pussent être fermés.

Pour réduire au minimum les chances d'accidents de ce genre, nous avons d'ailleurs depuis longtemps remplacé les tubes ordinaires par des niveaux à réfraction système Klinger, qui n'ont depuis leur mise en service, il y a quatre ou cinq ans, donné lieu à aucun accident.

Il faut de toute nécessité que le personnel inférieur ait confiance dans ses chefs, et que ceux-ci aient la fermeté nécessaire pour le contenir en cas de besoin.

Nous avons eu à bord, en cours de traversée, des ruptures de tubes de chaudières, qui ont occasionné des retours de flammes, sans que la marche ait été modifiée, et que les passagers se soient même aperçus de l'accident; mais il faut, dans ce cas, que les chefs paient de leur personne, prennent de suite les mesures nécessaires pour parer aux conséquences des accidents, et inspirent, par leur action, confiance à leurs subordonnés.

M. DE MAUPEOU. — Quel système de chaudières allez-vous employer?

M. HART. — Nous allons essayer les chaudières Solignac-Grille. Je me ferai un plaisir d'inviter les membres de l'Association, quand les essais seront en cours.

M. DE MAUPEOU. — C'est ce que vous avez trouvé de plus léger?

M. HART. — Nous nous sommes surtout placés au point de vue de la vaporisation, mais les chaudières étudiées, et dont deux groupes sont en construction, nous feront gagner environ 40^t. La vaporisation que nous avons obtenue aux essais sur une petite chaudière, la même qui avait été essayée à Indret, a été très satisfaisante, et la chaudière essayée à Toulon, et destinée au *Kaby/e*, est arrivée à la même vaporisation, soit environ 9^{kg},5 à l'allure de 100^{kg}, et encore plus de 8^{kg} à celle de 350^{kg}.

Pour revenir à la discipline de la chauffe, j'ajouterai que l'entraînement du personnel conduit à d'assez fortes économies de combustible. C'est ainsi que la consommation journalière, qui était au début de 30^t par jour, a baissé successivement à 28^t, 25^t, et même 22^t, ce qui correspond à plus de 200^{fr} d'éco-

nomie par jour, par beau temps. Pratiquement l'économie moyenne est d'un peu plus de 100^{fr} par jour, soit à peu près 40 000^{fr} par an.

M. BEAUSIRE. — A combien chauffez-vous par mètre carré de grille ?

M. HART. — Au début la consommation par mètre carré s'élevait à 160^{kg} à 170^{kg}, mais actuellement elle est tombée à 130^{kg}.

M. BEAUSIRE. — Combien chaque homme manutentionne-t-il de combustible ?

M. HART. — Nous avons douze chauffeurs, soit un par chaudière, mais ils marchent par équipes de deux, et se relayent, l'un pour ouvrir les portes du foyer, l'autre pour charger.

M. BEAUSIRE. — Cela fait un homme par chaudière. Combien brûle-t-on par chaudière ?

M. HART. — La consommation étant d'environ 8^t à l'heure, cela fait plus de 700^{kg} à l'heure.

M. BEAUSIRE. — On peut compter au minimum sur 600^{kg}.

M. HART. — Oui, mais la chauffe dure environ une heure et demie. Dans ces conditions, il ne faut pas compter sur plus. Un des points fâcheux de la chauffe en vase clos est l'importance de la poussière, qui attaque les yeux des hommes. Aussi sont-ils obligés à bord de porter des lunettes noircies et entourées de cuir, pour soustraire leurs yeux à la poussière. Les lunettes sont malheureusement pénibles à porter, étant donnée la température, mais c'est là le seul moyen d'éviter les ophtalmies, qui rendent les hommes indisponibles pendant 10 à 12 jours.

M. BEAUSIRE. — A quelle pression marchez-vous ?

M. HART. — Nous avons été au début, avec forte couche de combustible, jusqu'à 43^{mm} d'eau, mais actuellement la pression d'air ne dépasse pas 20^{mm} à 24^{mm}. Elle se tient souvent à 18^{mm}.

M. BEAUSIRE. — Il m'est arrivé aussi d'avoir des poussières, mais on peut mettre des écrans pour les arrêter.

M. HART. — Nous avons, depuis la mise en service des paquebots, très fortement modifié les arrivées d'air dans les chaufferies, pour régulariser le tirage, ce qui a diminué la poussière; mais celle-ci est encore considérable, quand nous employons le charbon cru ou la briquelette cassée.

Normalement, nous employons de petites briquettes de 650^g, que nous chargeons telles quelles, sans les briser. Ce combustible est, pour les chaudières d'Allest, très préférable au charbon cru, qui produit souvent une forte masse de gaz, lequel s'éteint au passage du faisceau tubulaire, et se réenflamme au-dessus, au grand dommage des conduits de fumée et de la cheminée.

M. BEAUSIRE. — Vous ne cassez pas les petites briquettes?

M. HART. — Aucunement. Chaque charge se compose de cinq briquettes. Tout chauffeur qui en met un plus grand nombre sur la grille est puni.

M. BEAUSIRE. — Je voudrais vous demander un renseignement au sujet des bateaux à roues, dont vous venez de parler. En combien de temps le bateau stoppe-t-il, en partant de la marche en pleine vitesse, après que le signal a été donné à la machine, et en quelle distance?

M. HART. — Pratiquement il ne faut pas compter s'arrêter en moins de deux longueurs. La *Marie-Henriette*, paquebot Belge, s'est bien arrêtée en une longueur, mais elle a perdu une roue par suite de la rupture de l'arbre, occasionnée par la violente réaction qu'elle a subie.

M. BEAUSIRE. — Elle était à toute vitesse?

M. HART. — Oui. Au point de vue de l'arrêt, les roues présentent un avantage marqué, car elles constituent, quand elles ne sont pas en mouvement, ou tournent en arrière, un énorme frein, mais les réactions sur les arbres et sur les machines sont considérables.

M. BEAUSIRE. — C'est par conséquent supérieur à ce qu'on obtient sur les paquebots à turbines.

M. HART. — C'est exact, mais les arrêts aussi brusques sont une source d'avaries, qui peuvent être graves. C'est ainsi que nous avons plié de 30° une barre d'excentrique, pour éviter un bateau pêcheur, bien que cette barre eût 150^{mm} de diamètre. Dans les cas d'arrêts brusques, ces barres fouettent de 40^{mm} à 50^{mm}.

M. BEAUSIRE. — Alors c'est dans la machine que se produit l'avarie.

M. HART. — Oui, il faut bien que l'énorme puissance vive, résultant de la masse en mouvement du navire, soit absorbée d'une façon ou d'une autre. Aussi ai-je donné des instructions formelles, pour qu'on marque toujours, à moins de circonstances exceptionnelles, le stop avant de passer à la marche

en sens contraire. Nous épargnons ainsi beaucoup de fatigue aux roues et à la machine.

M. BEAUSIRE. — Vous avez parlé hier d'une avarie de turbine sur le *London-derry*. Qu'est-il arrivé ?

M. HART. — Il y a eu flexion des deux bouts de l'arbre, et le tambour s'est décentré.

M. BEAUSIRE. — Par flexion ?

M. HART. — Oui, il y a eu contact entre la partie tournante et la partie fixe de la turbine, mais c'est une avarie rare. Le plus souvent ce sont des vis insuffisamment fixées, qui se desserrent, ainsi que cela s'est produit sur la *Queen*, ou un corps étranger qui s'introduit dans la turbine.

M. BEAUSIRE. — Sur la *Queen*, c'était un corps étranger qui s'était introduit ?

M. HART. — Oui, mais l'avarie a été réparée très rapidement, beaucoup plus rapidement qu'une avarie de cylindres, et d'une manière moins coûteuse, les ailettes se faisant très facilement.

M. le PRÉSIDENT. — Il nous reste à remercier M. Hart de sa communication, et à lui faire nos compliments sur les résultats donnés par le remplacement des roues. Il a été obligé de faire lui-même son éducation, et dans les circonstances actuelles il n'est pas étonnant qu'il ait reçu des avis peu encourageants, car l'habitude des aubes s'est un peu perdue.

M. HART. — Je demande alors à associer à ma réussite tous ceux qui ont bien voulu m'aider de leur expérience, M. Kraft de la Saulx, ingénieur en chef de l'usine Cockerill, et M. de Courville, ainsi que M. de Saint-Amand, Sous-Ingénieur du service, qui a surveillé et conduit avec soin l'établissement des nombreuses épures qu'a demandées cette étude.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL donne lecture des mémoires de M. l'abbé Noguier de Malijay, et de M. Danis.

Le feu en vase clos ;

Par M. l'Abbé NOGUIER DE MALIJAY.

L'auteur indique le dispositif de l'appareil, qui a été installé par des inventeurs Belges sur un submersible de la Marine Française, pour entretenir la production de la vapeur,

le navire étant immergé, au moyen de l'acétylène, et démontre que le fonctionnement continu de l'appareil était *a priori* théoriquement impossible, ainsi d'ailleurs que l'a démontré une expérience, qu'il n'était pas nécessaire d'entreprendre.

Note sur la détermination des dimensions principales des turbines marines;

Par M. DANIS,

Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique.

Continuant une étude, qui a déjà pris place dans le *Bulletin de l'Association Technique Maritime* (1904), l'auteur expose la difficulté que l'on éprouve à associer convenablement la turbine, qui exige, pour être très économique, un grand nombre de tours, et l'hélice, dont le rendement décroît rapidement au delà d'une certaine vitesse circonférencielle. Il examine ensuite de quelle manière on peut, en partant des résultats d'expérience d'une turbine, fixer les dimensions de celle qui donnera, pour une application déterminée, les résultats les plus avantageux.

M. le PRÉSIDENT. — Nous remercions M. l'abbé Noguier de Malijay et M. Danis, qui malheureusement sont absents, de l'envoi de leurs intéressants mémoires.*

Nous regrettons bien vivement aussi que M. Tellier n'ait pu assister à cette séance, car nous aurions été heureux d'entendre ses observations sur la navigation automobile (1).

La séance est levée à 3h5^m.

Au sortir de cette réunion, l'Association s'est rendue au Pont Alexandre III, et a embarqué sur le *Dolmen*, à bord duquel elle a examiné le fonctionnement du moteur à soupape Lentz. — Voir à cet égard le mémoire de M. Godard (2).

(1)

Canots automobiles,

Par M. ALPHONSE TELLIER,

Ingénieur-Constructeur.

M. Tellier indique quels ont été au meeting de Monaco les modes de classement des *racers* et des *cruisers*. Il examine ensuite les principales dispositions de chacun des canots automobiles qui ont paru à ce meeting, et résume les progrès réalisés depuis l'année dernière.

(2)

La surchauffe dans la Marine.

Distribution par soupapes commandées système Lentz,

Par M. GODARD,

Ingénieur en chef du Génie Maritime,

Directeur général des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët).

M. Godard indique les résultats économiques réalisés dans les machines à vapeur

Ass. techn. mar., 1906.

f

fixes, munies de distributeurs à soupapes, par l'emploi de la surchauffe. Puis il décrit le système de distribution Lentz, qui est appliqué sur le remorqueur *Dolmen*, soumis à l'examen des membres de l'Association Technique Maritime, et qui sera employé sur le torpilleur 366, ainsi que sur un cargo-boat en construction pour la Compagnie Générale Transatlantique. Il en fait ressortir les avantages, dont les principaux sont la réduction de la consommation de vapeur, la possibilité de la surchauffe, et l'absence de chocs.

VICTOR-ANDRÉ DAYMARD
(13 avril 1837 — 31 décembre 1905.)

Daymard

NOTICE NÉCROLOGIQUE SUR M. DAYMARD.

PAR M. GROLOUS,

Ingénieur en chef de la Compagnie Générale Transatlantique.

L'Association Technique Maritime a été très douloureusement éprouvée par la mort de son Président, M. Daymard, décédé subitement le 31 décembre 1905 ; elle n'aura pas été seule à ressentir une perte si cruelle et si imprévue, et ses regrets seront partagés par tous ceux qui s'occupent d'architecture navale, aussi bien en France qu'à l'étranger, car M. Daymard avait largement contribué aux progrès des constructions navales, tant par ses études théoriques que par une production continue et féconde, au cours de sa longue carrière d'Ingénieur constructeur de navires.

Né à Montrichard (Cher) le 13 avril 1837, Victor-André Daymard fit de brillantes études, et entra en 1856 à l'École Polytechnique. Il en sortit en 1858 dans le corps du Génie maritime, et fut attaché successivement à l'Arsenal de Toulon, à l'Établissement d'Indret, et à l'Arsenal de Rochefort, où il resta jusqu'en 1874. Partout il fit preuve d'un continuel désir de s'instruire sur tout ce qui touchait à sa profession, et d'en élargir le champ en ne laissant de côté aucune des questions qui s'y rattachent. C'est ainsi qu'il quitta pendant trois années le service de l'État, pour aller collaborer à la construction des paquebots de la Compagnie des Messageries Maritimes dans son chantier de la Ciotat, et qu'il passa pendant la première partie de sa carrière cinq années à la mer, soit à bord des navires de l'escadre, où il étudia le service à la mer, si utile à connaître pour quiconque veut établir des plans de navires, soit à bord du *Rochambeau*, sur lequel il fit en 1870 la campagne de la Baltique, soit enfin au cours des missions lointaines qu'il eut à remplir. L'une des plus intéressantes fut celle des opérations de renflouement du transport la *Corrèze*, échoué à Gorée en 1870, sauvetage difficile qu'il sut mener à bien, grâce à ses qualités d'initiative et d'ingéniosité technique. Entre temps, il avait fait les études de plusieurs navires : le *Linois*, la *Cigale*, le *Cygne*, qui furent construits sur ses plans.

En 1874, il s'orienta définitivement dans la voie où il devait donner toute

la mesure de ses capacités, et se créer une brillante réputation. Abandonnant définitivement le service de l'État, il entra en qualité d'Ingénieur à la Compagnie Générale Transatlantique, qui voulait organiser fortement la gestion technique d'une flotte, dont l'importance allait rapidement s'accroître. Il fut chargé d'abord de surveiller à Newcastle les travaux d'allongement et de transformation de deux grands paquebots. Il dirigea ensuite les Ateliers de la Compagnie à Saint-Nazaire, puis au Havre, et se signala à cette époque par le renflouement du paquebot *Amérique*, échoué à Long-Island.

En 1879, il fut envoyé à Marseille, où la Compagnie Générale Transatlantique créait de toutes pièces l'exploitation d'un nouveau service postal, qui devait être assuré par un matériel important, comportant plus de vingt navires. Après avoir jeté sur place les plans de cette organisation, Daynard alla en Angleterre pour suivre la construction des douze navires qui y avaient été commandés, et qui se construisaient simultanément dans trois chantiers de la Clyde et un de la Tyne. Installé à Glasgow, il dut faire preuve, pendant une année, d'une activité, d'une puissance de travail et d'une sûreté de direction véritablement extraordinaires. C'est à ses efforts personnels qu'il faut attribuer, pour une grande part, la réussite de ces navires, qui furent exécutés avec une rapidité exceptionnelle, et qui firent le plus grand honneur à la fois aux constructeurs et à la Compagnie Générale Transatlantique. L'un d'eux, le *Charles-Quint*, faillit se perdre au cours de ses essais; un autre dut être coulé à la suite d'un incendie, et ce fut Daynard qui, renouvelant ses succès antérieurs, conduisit et réussit les opérations de sauvetage.

Dès cette époque, il avait prévu l'évolution qui devait conduire, dix ans plus tard, à adopter d'une manière générale la double hélice pour les navires à passagers, et lorsqu'en 1883 la Compagnie Générale Transatlantique décida de construire ses quatre grands navires type *Champagne*, il proposa et soutint avec ardeur cette solution, qui, pour des raisons particulières, ne put être admise.

Appelé en 1884 au poste d'Ingénieur en chef de la Compagnie, qu'il conserva pendant 18 ans, et où il succédait à l'homme de grand talent que fut Audenet, il eut non seulement à continuer l'œuvre remarquablement commencée par son prédécesseur, mais encore, et bientôt après, à donner une impulsion personnelle au grand service qu'il dirigeait. Après avoir pris une part active à l'achèvement de la *Champagne*, de la *Bretagne*, de la *Bourgogne* et de la *Gascogne*, dessinées et commencées par Audenet, il entreprit l'amélioration de la flotte de la Méditerranée. L'année 1888 vit la mise en service du premier navire construit sur ses plans : l'*Eugène-Pereire*, le pionnier de la flotte des cinq navires rapides, qui ont si brillamment assuré le service postal entre Marseille et Alger, et qui, à l'heure présente, sont encore sans rivaux dans la Méditerranée. Améliorant de navire en navire le type primitif, il arrive en 1892 au *Général-Chanzy*, qui donna aux essais 18ⁿ,25, et réalisa entièrement, dans des conditions excellentes de confor-

table et de sécurité de service, l'objectif délicat du navire minimum doué de la vitesse maximum.

Il fut aux prises avec le même problème lorsqu'il dut construire, pour le service postal du Havre à New-York, la *Touraine*, navire de 19ⁿ, 5, livré en 1891, la *Lorraine* et la *Savoie*, qui ont pris leur service en 1900 et 1901, et qui réalisèrent aux essais des vitesses supérieures à 22 nœuds.

De 1886 à 1890 il avait produit les plans des navires de charge *Morbihan*, *Vendée*, le *Tarn*, le *Calvados*, le *Gard* et, en 1893, la *Navarre*, paquebot de 18 nœuds pour le service des lignes postales des Antilles.

Dans la conception de tous ces navires, il mit en œuvre non seulement la connaissance parfaite qu'il avait du service auquel ils étaient destinés, mais encore tous les perfectionnements techniques, qu'un jugement sûr lui avait suggérés : emploi des aciers mi-durs pour la construction des coques; accélération de l'allure des machines, utilisation rationnelle pour leurs organes de mouvement des métaux à grande résistance; élévation progressive de la pression de régime des chaudières; usage judicieux de tous les progrès réalisés dans leur fonctionnement, et spécialement du tirage forcé par soufflerie dans les foyers, dont il avait fait la première application sur l'*Eugène-Pereire*. En même temps, malgré le travail considérable que lui imposait la surveillance d'une flotte de plus de soixante navires, et la direction supérieure du chantier que la Compagnie avait établi à Saint-Nazaire pour la construction de ses paquebots, il suivait avec la plus vive attention tous les changements qui se faisaient dans la construction et l'aménagement des navires de commerce, et il ne laissait passer aucune occasion d'en faire l'application sur les navires de la Compagnie Générale Transatlantique.

En 1901, il résigna ses fonctions à la Compagnie Générale Transatlantique, dont il resta l'Ingénieur-Conseil, et il fut nommé Ingénieur en chef du Bureau Veritas. Dans cette nouvelle situation, il continua à contribuer aux perfectionnements de la flotte commerciale, en revisant les règlements de cette Société, et en créant une réglementation nouvelle pour la classification des navires de rivière.

Grâce à l'extraordinaire activité qu'il avait toujours eue, et qui lui avait permis de prendre une part importante aux travaux de la Commission technique du Canal de Panama, alors qu'il était encore à la Compagnie Générale Transatlantique, grâce aussi à son goût très vif pour les choses nouvelles, il put encore s'occuper utilement de la navigation automobile, en aidant de ses conseils les constructeurs de coques et d'hélices.

Ses aptitudes scientifiques lui avaient permis de mener à bien également d'intéressantes études théoriques. Quelque exploité que fût déjà le champ des questions relatives à la stabilité statique des navires, il y avait découvert des aspects nouveaux, et, en 1883, il avait créé, sous le nom de *Méthode des Pantocarènes*, un mode de calcul des bras de leviers métacentriques extrêmement ingénieux, et employé couramment depuis. Cette méthode fit l'objet

d'un mémoire inséré dans les *Transactions of the Institution of Naval Architects* (1884, Vol. XXV), et elle fut présentée à l'Institut de France, qui décerna le Prix Plumey à son auteur en 1885.

A la mort de M. de Bussy, Daymard avait été élu à l'unanimité président de l'Association Technique Maritime, dont il était un des fondateurs. Il était d'autant plus désigné pour remplir cette fonction — et l'on sait de quelle manière remarquable il s'en acquitta — que sa réputation avait franchi nos frontières, et qu'il était très connu et apprécié à l'étranger, surtout en Angleterre, où il avait conservé de nombreuses relations, et où il s'était créé de très vives et solides amitiés.

Daymard avait été fait chevalier de la Légion d'honneur à la suite du renflouement de la *Corrèze*; il fut nommé officier lors des essais de la *Touraine*.

Les lignes qui précèdent font apprécier combien sa carrière, si brusquement interrompue en plein travail, fut remplie et productive; mais ce qu'elles ne peuvent faire comprendre, c'est l'affabilité, l'égalité d'humeur, la bienveillance inaltérable, qui furent les traits distinctifs de son caractère, et qui firent de lui le conseiller, le soutien et souvent le bienfaiteur de ceux — et ils étaient nombreux — qui s'adressaient à lui.

Qu'il soit permis à celui qui fut son collaborateur immédiat pendant de longues années, et qui eut la bonne fortune d'être en même temps son ami, de venir témoigner ici de tout ce qu'il y avait de sympathique, de délicat, de généreux dans cette belle personnalité navale. Daymard fut non seulement une intelligence d'élite, ce fut plus encore : ce fut un homme de cœur et un homme de bien.

STABILITÉ D'UN FLOTTEUR CYLINDRIQUE

SOUS LES GRANDS ANGLES D'INCLINAISON,

INFLUENCE DE LA HAUTEUR D'ŒUVRES-MORTES,

PAR M. L.-E. BERTIN,

Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve,
Membre de l'Institut.

Les développements purement scientifiques donnés par les géomètres à l'étude de la stabilité des navires semblent avoir eu un résultat assez imprévu, celui de faire perdre de vue les principes élémentaires qui régissent le sujet. Les questions concernant la surface des centres de carène, le métacentre, la développée métacentrique, se sont présentées comme entourées de mystère, non seulement pour le public, mais pour les praticiens eux-mêmes. Ainsi peuvent s'expliquer certains oublis commis dans des applications ressortissant au métier, et les confusions dans lesquelles on est tombé, par exemple, entre les conditions de l'équilibre et celles de la stabilité, surtout quand il faut considérer les angles d'inclinaison finis.

L'exposé des conditions indispensables à la stabilité de l'équilibre peut se faire avec la plus grande simplicité, quand on vient à assimiler le navire à un flotteur cylindrique à base circulaire, sous le rapport de la stabilité. L'assimilation est exacte pour les inclinaisons infiniment petites; elle exigerait, à la rigueur, que l'on fasse varier les dimensions du cylindre quand l'inclinaison atteint des valeurs finies; elle peut être très utile, dans tous les cas, pour l'intelligence de la question.

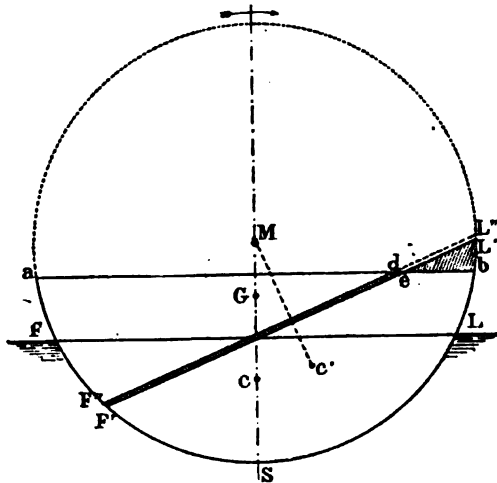
L'étude du flotteur cylindrique, sous le rapport de la stabilité, m'a été inspirée primitivement par le désir de répondre clairement et en peu de mots à diverses questions du savant Commandeur Alessandro Cialdi, correspondant de l'Institut, concernant le métacentre. Plus tard j'ai développé ma première étude sommaire, et j'en ai fait l'objet d'une note, qui fut publiée

par les soins de Cialdi ⁽¹⁾. Je me souviens que le P. Secchi manifesta quelque surprise qu'une définition aussi simple du métacentre fût nouvelle, lorsqu'il s'est agi de l'insertion dans le *Recueil des actes de l'Académie pontificale dei nuovi Lincei*.

Je vais poursuivre cet ancien travail, en supposant que la hauteur d'œuvres mortes du flotteur cylindrique est assez faible, pour que l'arête supérieure sous le vent s'immerge quand le flotteur s'incline. Nécessairement les inclinaisons considérées ont, dans ces conditions, des valeurs linies, 5°, 10°, 20° et au delà, pour lesquelles la stabilité d'un navire véritable n'est plus la même que celle du cylindre auquel le navire peut être assimilé pour les inclinaisons très petites. Les calculs ne seront donc applicables qu'aux flotteurs de forme cylindrique à la flottaison, ou plutôt de forme de solide de révolution; leur intérêt sera de formuler très nettement les conditions suivant lesquelles une faible hauteur d'œuvres mortes entraîne pour les navires, ou n'entraîne pas des dangers de chavirement.

Soit aSb (*fig. 1*) le profil du flotteur considéré, en forme de secteur de cercle dans toute la portion qui émerge, ou qui peut émerger par suite de

Fig. 1.



l'inclinaison. L'axe du cylindre est en M ; c'est le métacentre, aussi longtemps que les points a, b sont hors de l'eau.

Soit aF la hauteur d'œuvres mortes; FL est la flottaison d'équilibre, et C le centre de carène correspondant.

Soit enfin G le centre de gravité du flotteur.

Supposons une inclinaison du flotteur dans le sens de la flèche, qui se

⁽¹⁾ *Méthode nouvelle pour établir la formule de la hauteur métacentrique* (*Atti dell'Accademia pontificia dei nuovi Lincei*, séance du 20 février 1876).

l'isocarène s'obtient en composant les deux forces parallèles et de sens contraire $P + f$ appliquée en C' , et $-f$ appliquée en c au centre du triangle $L'db$. On voit sur la figure 2 comment le métacentre descend ainsi, en M' , à une certaine hauteur au-dessous de M .

Appelons δ la longueur de la perpendiculaire ch abaissée du point c sur le rayon MC' .

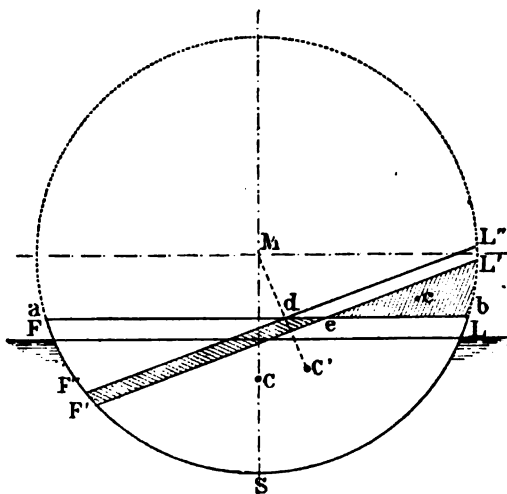
Le couple de stabilité peut être regardé comme la résultante de deux couples de sens contraire, l'un composé des forces $+P$ et $-P$ appliquées en G et en C' , l'autre composé des forces $-f$ et $+f$ appliquées en c et en c' . Le moment de stabilité est donc

$$(2) \quad M = P(\rho - a) \sin \varphi - f \delta.$$

Telle est la formule nouvelle que nous allons maintenant appliquer, lorsque l'arête b s'immerge non plus d'une hauteur bL' très petite, comme le supposait la figure 1, mais d'une hauteur quelconque comparable aux autres dimensions de la figure.

Un cas particulièrement intéressant à considérer, parce que la valeur de $f \delta$ se calcule facilement, est celui de la figure 3, où la surimmersion $F'F''$ est

Fig. 3.



égale à la hauteur d'œuvres mortes aF du flotteur droit. La surface du triangle $L'db$, qui représente f , et qui est égale à celle du trapèze $F'F''L'L'$, est aussi égale dans ce cas à la section $aFLb$ de l'œuvre morte droite et, par suite, à la section adF' de l'œuvre morte inclinée.

Les deux triangles $L'db$ et adF' étant égaux, le point d tombe sensiblement sur le rayon MC' . Le bras de levier δ de la force f appliquée en c est

donc égal aux deux tiers de la demi-largeur, ou au tiers de la largeur m du flotteur.

Nous avons ainsi, en appelant p le déplacement en poids du volume des œuvres mortes, et en remplaçant, dans la formule (2), f par p et δ par $\frac{m}{3}$,

$$(3) \quad M = P(\rho - \alpha) \sin \varphi - \frac{1}{3} pm.$$

Nous supposons que $\sin \varphi$ soit égal à un tiers, ce qui correspond à une inclinaison φ très voisine de 20° , et que p soit le dixième de P , ce qui correspond assez bien aux conditions réalisées par le caisson blindé des cuirassés à faible hauteur de caisson. L'équation (3) devient

$$(4) \quad M = \frac{1}{3} P \left(\rho - \alpha - \frac{m}{10} \right).$$

On voit clairement que la valeur de M et son signe dépendent uniquement de la valeur relative de la hauteur métacentrique $\rho - \alpha$, et de la largeur m du flotteur.

Pour les navires genre croiseur à grandes œuvres mortes en tôlerie au-dessus du caisson blindé, on a usuellement

$$\rho - \alpha = \frac{m}{20},$$

ce qui, dans les conditions considérées, donne

$$(5) \quad M = - \frac{1}{3} P \frac{m}{20}.$$

Le chavirement s'est donc produit avant que l'inclinaison ait pu atteindre l'inclinaison supposée de 20° .

Pour les monitors et tous les navires à grandes plages, qui n'ont pas à craindre la vivacité du roulis, on adopte des hauteurs métacentriques trois fois plus fortes

$$\rho - \alpha = \frac{3m}{20},$$

ce qui conduit à

$$(6) \quad M = + \frac{1}{3} P \frac{m}{20}.$$

Le chavirement n'est pas à craindre sous l'inclinaison de 20° .

On sait de plus, aujourd'hui, que les monitors et les navires à plages, à l'état intact du moins, n'ont pas à craindre d'atteindre 20° d'inclinaison en roulant. Ericson ne pouvait pas le prévoir au début; il a donc agi sagement en attribuant à son monitor une énorme valeur de $\rho - \alpha$. On a agi sagement aussi, en conservant la même règle, en raison des aléas du combat.

La valeur du moment de stabilité, quel que soit l'angle φ , est ainsi

$$(7) \quad M = -Pa \sin \varphi,$$

ce qui était facile à établir sans recourir à aucun calcul, les conditions de stabilité étant exactement celles d'un sous-marin.



THÉORÈME SUR LE MÉTACENTRE DIFFÉRENTIEL,

PAR M. DOYÈRE,

Ingénieur en chef du Génie maritime.

La notion du métacentre différentiel, introduite en principe par M. le Directeur du Génie maritime Garnier (alors Ingénieur et Professeur de l'École d'application du Génie maritime), puis dénommée, précisée et développée par notre savant collègue M. Guyou, de l'Institut, est une des plus intéressantes de la géométrie du navire, non seulement en tant que théorie, mais au point de vue pratique. Pour s'en convaincre, il suffit de se rappeler qu'il y a 25 ans environ, on professait encore à l'École du Génie maritime cette théorie, fausse et dangereuse, que le débarquement d'un poids très petit p modifie la stabilité d'un navire exactement dans le même sens et de la même quantité que si l'on ramène ce poids à la flottaison. Nous savons aujourd'hui que ce n'est pas la distance du poids à la flottaison qui importe en l'espèce, mais sa distance au métacentre différentiel; M. Guyou a indiqué comment on détermine ce point dans un flotteur de forme cylindrique; j'ai généralisé cette détermination, et énoncé pour toute forme de carène une règle, que MM. Pollard et Dudebout ont reproduite dans leur traité de *Théorie du navire*, ainsi que M. le Directeur du Génie maritime Clauzel dans son cours imprimé de l'École du Génie maritime.

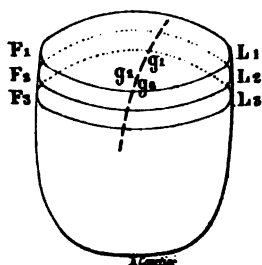
La vieille règle du poids ramené à la flottaison n'est exacte que dans les cas où le rayon métacentrique différentiel est nul; or, pour une carène de volume V donné, ce rayon est le rayon de courbure de la courbe (F) enveloppe des flottaisons-isocarènes de volume V ; à un rayon métacentrique différentiel nul correspond donc, en général, un point de rebroussement d'une courbe (F), ou exceptionnellement un point anguleux, ou enfin une courbe (F) réduite tout entière à un point.

La considération de ces points de rebroussement amène à un théorème curieux, que nous allons énoncer et démontrer, après avoir établi quelques définitions.

Considérons une série de carènes limitées par des flottaisons isoclines, parallèles à un certain axe d'inclinaison. Appelons, suivant l'usage, *plan d'inclinaison* un plan perpendiculaire à l'axe d'inclinaison, et sur lequel nous projetterons les figures, et *angle d'inclinaison* θ , l'angle des flottaisons considérées avec un plan initial arbitraire, perpendiculaire comme elles au plan d'inclinaison.

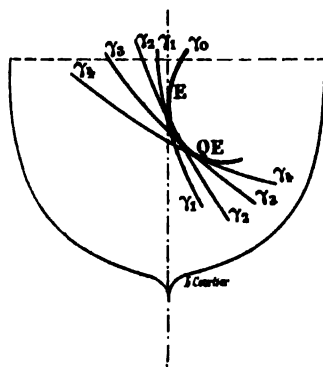
Soient $g_1, g_2, g_3, \dots$ les centres de gravité des flottaisons $F_1L_1, F_2L_2, F_3L_3, \dots$. Ces points forment dans l'espace une courbe généralement à double courbure, que nous appellerons *courbe* (g_0); il y en a une pour chaque

Fig. 1.



valeur de θ . Supposons-les projetées sur le plan d'inclinaison, et appelons *courbe* (γ_0) la projection de la courbe (g_0). Pour diverses valeurs de θ , on aura une série de courbes de l'espèce (γ_0), (γ_1), (γ_2), ..., lesquelles détermineront, en général, une enveloppe EE.

Fig. 2.



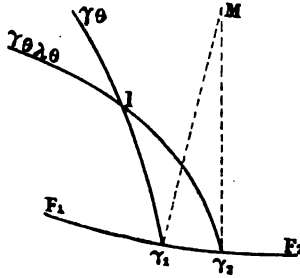
Rappelons maintenant que la courbe (F), enveloppe des flottaisons isoclines, est le lieu des centres de gravité de ces flottaisons, c'est-à-dire de tous les points g qui correspondent au même volume V ; de même, en projection sur le plan d'inclinaison, la courbe (F) projetée est le lieu des points γ correspondant à ce volume V .

Ceci posé, le théorème à démontrer est le suivant :

THÉOREME. — *L'enveloppe des courbes (γ_θ) , correspondant à diverses valeurs de θ , est le lieu (projeté) des centres de gravité des flottaisons pour lesquelles le métacentre différentiel est nul.*

Considérons, en effet, deux courbes γ correspondant à des valeurs infiniment voisines θ et $\theta + d\theta$ de l'angle d'inclinaison. Soit I leur point d'intersection, c'est-à-dire le point où elles touchent leur enveloppe. Soit maintenant F_1F_2 la courbe (F) correspondant à une valeur quelconque de V; elle

Fig. 3.



coupe les deux courbes (γ) en des points γ_1 et γ_2 . Les normales γ_1M et γ_2M à la courbe F_1F_2 déterminent la projection du métacentre différentiel M; l'angle de ces normales est $d\theta$. Donc le rayon métacentrique différentiel, correspondant à la flottaison qui passe par $\gamma_1\gamma_2$, a pour valeur

$$\rho = \frac{\overline{\gamma_1\gamma_2}}{d\theta}.$$

Or, si γ_1 et γ_2 sont à une distance finie de I, $\overline{\gamma_1\gamma_2}$ est, en général, infiniment petit, du même ordre que $d\theta$, et ρ est fini. Mais pour la courbe (F), qui passe par I, $\overline{\gamma_1\gamma_2}$ devient nul, tandis que $d\theta$ conserve sa valeur; la courbe (F) passant par I a donc un rayon de courbure nul en ce point, c'est-à-dire que pour la flottaison correspondante le rayon métacentrique différentiel est nul.

C. Q. F. D.

Ainsi, dans la figure 2, toute flottaison, parallèle à l'axe d'inclinaison considéré, qui a son centre de gravité projeté sur EE, limite une carène, de volume quelconque, pour laquelle le rayon métacentrique différentiel est nul.

En chaque point de EE, en Q par exemple, cette flottaison a l'inclinaison correspondant à la courbe (γ) , qui touche EE en ce point, c'est-à-dire sur la figure, γ_1 . Nous voyons d'ailleurs que le raisonnement subsiste si le point I est un point anguleux de l'enveloppe, c'est-à-dire si, entre deux valeurs limites θ_1 et θ_2 de l'inclinaison, les courbes (γ_θ) passent par ce point I; il est clair qu'alors toutes les flottaisons passant par I, et ayant une inclinaison com-

prise entre θ_1 et θ_2 , ont un rayon métacentrique différentiel nul, et limitent des isocarènes.

A fortiori, si toutes les courbes (γ) concourent en un même point I, toutes les flottaisons passant par ce point sont isocarènes, et correspondent à des rayons métacentriques différentiels nuls.

On démontrerait d'une façon analogue que, si l'on mène à chaque courbe (γ_0) une tangente parallèle à la direction θ , le lieu des points de contact de ces tangentes avec les courbes (γ_1), (γ_2), ... est le lieu des centres de gravité des flottaisons, pour lesquelles le rayon métacentrique différentiel est infini, c'est-à-dire le lieu des points d'inflexion des courbes (F). Mais ceci est tout à fait sans intérêt pratique, car, avec les formes ordinaires des navires, on ne peut généralement pas mener à la courbe (γ_0) une tangente parallèle à θ .

CONTRIBUTION

▲

L'ÉTUDE DE LA FRAGILITÉ DES MÉTAUX.

CRITIQUE DE L'ÉPREUVE DE CHOC,

PAR M. BROSSER,

Ingénieur en chef du Génie maritime.

On définit communément la *fragilité* la tendance des corps à casser au choc. Que faut-il entendre exactement par là? Selon nous, il faut lire la *non résistance* aux efforts brusques, instantanés, comme ceux qui se développent dans la rencontre des corps durs, et dont la durée est si courte, qu'ils n'ont pas le temps de produire une déformation sensible du corps, soit élastique, soit permanente.

On sait ⁽¹⁾ « que la rupture des métaux ne se produit le plus souvent qu'après une déformation résultant de glissements, qui modifient la texture de la matière. Plus le métal est doux, plus les déformations sont prononcées, plus la cassure a une apparence fibreuse ou lamelleuse. Toutefois, lorsque la nature du métal, ou la forme de l'éprouvette ne se prête pas au glissement, il peut être très faible, ou même nul; alors la rupture est brusque et bruyante, et la cassure est à grains plus ou moins gros ».

Nous ajouterons que ce mode particulier de rupture de la matière doit se produire aussi, indépendamment de la nature du métal ou de la forme de l'éprouvette, quand celle-ci est soumise à un effort brusque suffisamment violent. Sous un pareil effort, la barrette casse net, sans déformations sensibles aux bords de la cassure, par conséquent, sans absorption de force vive

⁽¹⁾ Voir DE MAUREOU, *Action comparée des forces sur les solides invariables, élastiques, déformables* (Bulletin de l'Association Technique Maritime, 1903).

résultant de ces déformations. Dès lors, la mesure de la *fragilité* est, ce nous semble, dans la grandeur de l'effort brusque nécessaire pour rompre la barrette, comme l'indice de cette même *fragilité* est dans l'aspect de la cassure ou de l'état structural du métal.

La *fragilité* ainsi entendue n'a de sens évidemment que pour les métaux durs naturellement; les corps mous ou essentiellement déformables, tels la cire, le plomb et même le fer ne sont pas, à proprement parler, fragiles, tandis que le verre, la fonte et même l'acier sous certains états, à allongements nuls ou à faibles limites élastiques, cassent toujours sous un choc suffisant.

En revanche l'acier, comparé au fer, peut supporter des efforts statiques progressifs considérables sans se déformer, et c'est ce qui fait sa supériorité dans les arts mécaniques, où l'on recherche avant tout l'invariabilité des formes, la précision des mouvements géométriques, etc., jointes à la résistance et à la légèreté.

Mais les aciers employés dans la construction sont loin d'avoir tous la même valeur au point de vue de la fragilité. Suivant le procédé de fabrication, le mode de coulée, la composition chimique, le degré de pureté des matières premières, etc., comme aussi suivant la nature des traitements subséquents, mécaniques ou thermiques (forgeage, laminage, recuit, trempe, revenu, etc.), les multiples nuances d'aciers, qu'on réalise dans l'industrie, sont différemment fragiles, et un moyen pratique sûr serait bien à désirer, qui permet d'évaluer sans conteste la *fragilité*.

Parmi les méthodes en usage dans les laboratoires, celles basées sur la détermination de la puissance vive de rupture méritent un moment d'attention.

Le principe est le suivant : sur la tête d'un barreau solidement encastré, on fait tomber d'une hauteur h_0 un mouton de masse m ; la vitesse au choc est $v_0 = \sqrt{2gh_0}$. La durée théorique du choc, c'est-à-dire l'intervalle qui sépare l'instant mathématique de la rencontre de l'instant de la pression maximum au point d'impact, lorsque celle-ci ne dépasse pas la limite élastique de la matière, est égale au temps de la propagation des pressions à travers le corps choquant, $T = \frac{l}{V}$, en appelant l la hauteur du mouton et V la vitesse du son dans le fer.

Si l'on admet, ce qui est très vraisemblable, étant donné le caractère du phénomène, que la pression au point d'impact pendant l'intervalle considéré croît proportionnellement au temps, on a pour déterminer l'effort maximum de cisaillement du barreau à l'époque T l'équation

$$\int F dt \quad \text{ou} \quad \frac{1}{2} F_0 T = - \int m dv = m v_0, \quad \text{d'où} \quad F_0 = \frac{2 m v_0}{T},$$

et pour une époque intermédiaire

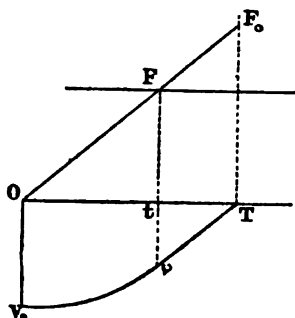
$$(1) \quad F = F_0 \frac{t}{T} = \frac{2 m v_0 t}{T^2}.$$

Parallèlement, la vitesse du mouton, $dv = -\frac{1}{m} F dt = -\frac{2v_0 t dt}{T^2}$, décroît rapidement de v_0 à 0, en suivant la loi parabolique

$$(2) \quad v = v_0 - v_0 \frac{t^2}{T^2}.$$

Pour un instant quelconque t du choc, le diagramme ci-dessous (fig. 1) donne l'effort F correspondant et la vitesse v du mouton. Si cet effort est

Fig. 1.



suffisant pour rompre le barreau, et si d'autre part le temps t est assez court pour que la matière n'ait pu se déformer d'une façon appréciable, la rupture a lieu brusquement, et le mouton continue son chemin avec la vitesse restante v , donnée par la relation (2), c'est-à-dire

$$v = v_0 - \frac{v_0}{T^2} \frac{F^2 T^4}{4 m^2 v_0^2} = v_0 - \frac{F^2 T^2}{4 m^2 v_0},$$

d'où l'on tire $F^2 = \frac{4 m v_0}{T^2} (m v_0 - m v)$, en négligeant l'énergie emportée par le tronçon de barrette ou absorbée par les vibrations de l'appareil.

Telle serait, d'après notre manière de voir, l'expression de la *résistance au choc* de la barrette expérimentée; cette résistance, l'inverse de la fragilité, serait, toutes circonstances égales, proportionnelle à la racine carrée de la quantité de mouvement détruite. Pour un mouton de forme et de poids déterminés, tombant d'une hauteur constante, et pour un même type d'éprouvette, cette quantité peut donc servir non seulement à apprécier la fragilité du métal, mais encore à la chiffrer numériquement, pourvu toutefois qu'il n'y ait pas déformation du barreau ou des supports, et pour cela que le temps t soit excessivement court. Or rien n'empêche de supposer que cette condition est toujours remplie : en effet, l'élongation maximum T est déjà inappréciable en fait, et l'on peut encore réduire le temps d'action t du mouton à presque rien, en prenant $m v_0$ suffisamment grand. Dans ces conditions le barreau casse net, et l'effort instantané de rupture, que nous pren-

drons pour définir la fragilité propre ou structurale du métal, est représenté dans l'expérience précédente par la quantité de mouvement détruite $mv_0 - mv = AF^2$, $A = \frac{T^2}{4mv_0}$ étant une constante spéciale à l'appareil (1).

Au contraire, la puissance vive absorbée ou travail de rupture

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \left(1 - \frac{t^2}{T^2}\right)^2 = \frac{T^2}{4m} F^2 - \frac{T^4}{32m^3 v_0^2} F^4$$

n'est pas proportionnelle à F^2 ; elle ne peut donc pas logiquement servir à chiffrer la fragilité du métal; l'expression rationnelle de cette propriété de la matière nous semble plutôt être la quantité de mouvement détruite.

En particulier, si les circonstances initiales sont telles que $v=0$, il vient $F = F_0 = \frac{2mv_0}{T}$, et la fragilité est définie par la hauteur de chute juste nécessaire pour amener la rupture d'un seul coup de mouton. C'est la méthode préconisée par M. Barba; mais elle est difficilement réalisable dans la pratique, où on lui substitue souvent, comme à Indret, la règle qui consiste à faire tomber le mouton d'une hauteur fixe déterminée, et à rejeter comme fragile tout barreau qui rompt au premier coup sous cette hauteur. Même sous cette forme, on peut reprocher à la méthode Barba de n'être pas suffisamment exacte pour les métaux doux, sur lesquels la durée d'action du choc T peut être suffisante pour produire une déformation de l'éprouvette. La méthode Frémont ou toute autre équivalente, modifiée seulement dans le sens d'une grande vitesse initiale, afin de réaliser l'instantanéité des efforts, nous paraît préférable, étant entendu que c'est la quantité de mouvement, et non la puissance vive absorbée, qui entre en ligne de compte dans la comparaison des résultats. Nous insistons tout spécialement sur ce point, parce qu'il nous semble que c'est la seule façon d'obtenir des chiffres comparables dans une question aussi peu définie d'ordinaire que celle de la fragilité des métaux. En effet, si l'on ne s'impose pas la condition de l'instantanéité des efforts, que l'on admette, par suite, la possibilité des déformations permanentes, l'épreuve de choc n'a plus de sens, qu'on envisage la quantité de mouve-

(1) On peut même rendre cette définition indépendante de l'appareil, si, au lieu de la fragilité absolue du métal, on envisage seulement sa fragilité relative, par rapport à une nuance d'acier déterminée, qui casserait sous un effort F_1 au même appareil. Cette fragilité relative serait rationnellement exprimée par le rapport inverse des résistances au choc

$$\frac{F_1}{F} = \frac{\sqrt{\frac{1}{4} \frac{mv_0^2}{T^2} (mv_0 - mv_1)}}{\sqrt{\frac{1}{4} \frac{mv_0^2}{T^2} (mv_0 - mv)}} = \sqrt{\frac{v_0 - v_1}{v_0 - v}} < 1,$$

suivant que le métal considéré est plus fragile ou moins fragile que l'échantillon type.

ment détruite ou la puissance vive absorbée; l'une et l'autre dépendent alors de la durée d'action du mouton (indéterminée), de la loi (inconnue et variable) qui relie les efforts et les déformations au temps, etc., en sorte qu'il n'y a plus de phénomène nettement défini, partant de grandeur mesurable. Mais alors une question se pose : à quoi peuvent servir les chiffres de *fragilité propre* du métal, si dans la pratique, à l'emploi, l'instantanéité des efforts n'est pas réalisée? Nous répondons : uniquement à contrôler la texture du métal; ce qu'un œil exercé peut d'ailleurs reconnaître immédiatement rien qu'à l'aspect du grain, et en tenant compte du mode employé pour le traitement. En un mot, pour conclure, l'épreuve de choc telle qu'elle est pratiquée habituellement dans les laboratoires, sur barreaux entaillés, n'est rien de plus au fond qu'un essai de vérification et de contrôle de l'état de l'*échantillon éprouvé*, cet état résultant des modifications de structure produites par le forgeage, le recuit ou la trempe; mais elle est insuffisante pour juger de la fragilité du métal *en masse*.

Celle-ci, dans sa généralité encore plus vague que la fragilité structurale, est une fonction complexe de la dureté propre du métal, de la nature du grain, de la masse du corps, de sa forme, de ses dimensions, de son homogénéité, etc., en même temps que de la force du choc, de sa vivacité; en un mot, c'est une question d'espèce.

Pour fixer les idées par un exemple, prenons le cas du tir d'un projectile cylindrique sur une plaque d'épaisseur appropriée. L'effet général, si la vitesse est suffisante, est un poinçonnage de la plaque. Or, considérons ce qui se passe dans les premiers instants du choc. *Grosso modo*, la pression au point d'impact croît linéairement de zéro à R, résistance au poinçonnage; à ce moment seulement, t , le projectile, qui ne possède plus qu'une vitesse v , commence à pénétrer dans la plaque; et, si cette vitesse v est suffisante pour vaincre le travail de la débouchure, le projectile traverse. Dans le cas contraire, le projectile reste engagé, ou même tombe au pied de la plaque, si la vitesse initiale était égale ou inférieure à $v'_0 = \frac{RT}{2m}$.

Dans tous les cas, la plaque, *considérée dans son ensemble*, est soumise pendant un certain temps, en plus du poinçonnage et de l'élévation brusque de température communiquée par le projectile, à un effort fléchissant et à un ébranlement local, qui développent des fatigues supplémentaires de la matière autour du point d'impact, ou rompent l'équilibre des tensions intérieures déterminées par le traitement thermique; de là des fentes, des cassures, qui apparaissent sur la face d'impact, mettant en évidence ce que l'on peut appeler la *fragilité générale de la plaque*, par opposition à la fragilité propre du métal définie plus haut, et qui n'a pas un rapport forcé avec la précédente. Toutes choses égales d'ailleurs, la fragilité générale ou tendance à la fragmentation au choc sera d'autant moins accusée, que le coup sera plus vif et la plaque plus douce (t et R petits); ou encore, d'une autre façon, pour

un même coup perforant, une plaque se fendra d'autant plus, qu'elle sera plus dure, ou moins homogène, ou moins bien appuyée à l'arrière. D'après cela, on voit que *résistance à la perforation* et *non-fragilité générale* peuvent être, et sont, en effet, assez souvent deux qualités contradictoires, à moins que la plaque ne soit constituée, comme dans le blindage Krupp, par deux épaisseurs de métal de nuances différentes, mais intimement soudées entre elles : l'une dure et amorphe, à l'avant, pour arrêter le projectile, et même le briser si cette couche est cimentée; l'autre douce et fibreuse, à l'arrière, pour amortir le coup et retenir les fragments.

Quoi qu'il en soit, on se rend compte par l'exemple choisi que *fragilité de masse* et *fragilité structurale* sont deux choses différentes. Une plaque dont le métal est intrinsèquement fragile a moins de chance, il est vrai, d'être bonne au tir qu'une autre dont le métal n'est pas fragile à l'état naturel; mais, même avec cette circonstance défavorable, la plaque peut très bien résister à la perforation, si, grâce à un traitement convenable approprié, elle est rendue très dure sur sa face d'impact. C'est que, en effet, la dureté d'une plaque, caractérisée par la charge de rupture, ou mieux par la limite élastique du métal de la couche d'impact, est l'élément primordial à considérer.

En tir de guerre, l'essentiel est que la plaque ne soit pas traversée par le projectile. Or actuellement, si certains blindages de ceinture, en acier spécial cimenté, résistent effectivement à des vitesses d'attaque égales à 1,4 fois environ la vitesse de perforation stricte de l'acier ordinaire, par contre, leur fragilité excessive est telle, qu'ils se briseraient en morceaux sous le coup d'un second tir semblable ou même réduit.

Le desideratum en pareille matière ne serait-il pas, au contraire, qu'une plaque supporte *au même endroit et à la vitesse normale de tir* successivement un coup de gros calibre et plusieurs coups de calibres inférieurs, sans découvrir la cible? Cette double épreuve nous semble d'autant plus logique que dans la réalité, à la mer, il est infiniment probable qu'une muraille cuirassée ne recevra jamais deux gros projectiles de rupture à la même place, tandis qu'elle pourra être couverte d'une grêle d'obus de calibres moyens, qui seraient mortels pour le navire, si des morceaux de plaques venaient à se détacher de la muraille en mettant les œuvres vives à nu.

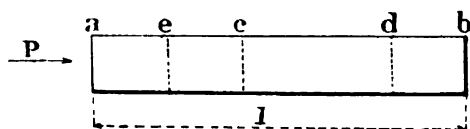
UNE EXPÉRIENCE DE CHOC,

PAR LE COMTE DE MAUPEOU D'ABLEIGES,

Directeur du Génie maritime.

La mécanique rationnelle admet que les solides sont invariables, il en résulte qu'une pression agissant normalement sur l'extrémité d'un cylindre droit communique simultanément, à toute la masse m , un mouvement uni-

Fig. 1.



formément accéléré, dont la vitesse, après un temps t , est donnée par la formule

$$v = \frac{P}{m} \times t.$$

En réalité les solides sont élastiques; lorsqu'une pression agit à l'extrémité d'une barre métallique, son action se transmet de tranche en tranche, et la vitesse, ou vitesse de propagation des pressions, est très grande pour le fer et l'acier,

$$V = \sqrt{\frac{gE}{d}} = 5000^m.$$

Dans ces conditions, les effets de la pression se font sentir d'une extrémité à l'autre d'une barre de 5^m de longueur dans un temps très court,

$$\Delta t = \frac{l}{V} = \frac{5}{5000} = \left(\frac{1}{1000}\right)^n.$$

Partant de là, il est aisé de voir que : tandis que, sous l'action d'une pression, toutes les parties d'un solide invariable augmentent simultanément et

progressivement de vitesse, les différentes tranches d'une barre élastique subissent, les unes après les autres, des accroissements brusques de vitesse, ce qui constitue un mouvement saccadé ⁽¹⁾.

Pendant la première période de temps $\Delta_1 t$, la pression se transmet de a en b , comprimant et mettant en mouvement les couches successives de la barre, et l'on a

$$P \times \Delta t = v \times m,$$

d'où

$$v = \frac{P \times \Delta t}{m};$$

pendant la seconde période $\Delta_2 t$, la matière se détend de a en b , et chaque tranche, en perdant sa compression, prend une vitesse double de celle qu'elle avait précédemment.

Si la pression cesse de se faire sentir de suite après ces deux périodes de compression et de détente, le cylindre se retrouve à son état normal, avec une vitesse précisément égale à celle que la même force lui aurait communiquée s'il avait été invariable :

$$2v = \frac{P}{m} \times 2\Delta t.$$

Si la pression dure trop peu de temps pour influencer la barre sur toute sa longueur, $t < \Delta t = \frac{l}{V}$, le phénomène est plus compliqué. Supposons que

la pression n'agisse que pendant un temps $t = \frac{ac}{V}$; dès qu'elle disparaît, la matière se détend sur la gauche de la partie influencée tandis qu'elle se comprime et prend de la vitesse sur la droite, la zone comprimée et en mouvement se déplace de c vers b sous forme d'onde; lorsque cette onde comprimée atteint l'extrémité de la barre, la matière n'étant plus appuyée à droite se détend de ce côté en doublant de vitesse, et, lorsque la détente est complète, il existe à droite de la barre une zone $bd = \frac{1}{2}ac$ animée d'une vitesse $2v$, qui réagit sur le reste de la barre revenu au repos; cette réaction donne lieu à une onde déprimée, qui rétrograde de b vers a . Lorsque cette onde atteint l'extrémité a de la barre, la tension se transforme en vitesse, la zone ac pousse sur le reste de la barre momentanément au repos, ce qui donne naissance à une nouvelle onde comprimée, et ainsi de suite; des ondes alternativement comprimées et déprimées vont de a en b et de b vers a , donnant lieu à un mouvement saccadé ou vermiculaire, dans lequel les extrémités a et b ont alternativement une vitesse nulle ou une vitesse $2v$. Le

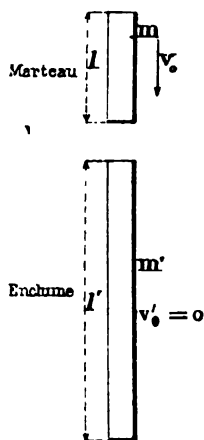
⁽¹⁾ *Action comparée des forces sur des solides invariables, élastiques, déformables* (Bulletin de l'Association Technique Maritime, session 1902, p. 331).

centre de gravité de la barre a d'ailleurs un mouvement accéléré, tant que la pression se fait sentir, et uniforme ensuite, car la vitesse de la matière est toujours de même sens dans les ondes directes et réfléchies, et la quantité de mouvement de la masse est constante.

Les variations de vitesse du mouvement saccadé dont nous venons de parler se succèdent avec une trop grande rapidité, pour qu'on puisse les constater par la vue ou le toucher. Il y aurait cependant un sérieux intérêt à mettre ce fait en évidence, mais pour y arriver il faudrait d'abord produire à volonté le mouvement saccadé, et trouver ensuite un moyen de l'enregistrer.

Remarquons pour commencer que les conditions supposées se réalisent dans le choc de deux barres métalliques. Considérons un marteau et une enclume tous deux cylindriques, de même nature, même diamètre, et ne différant que par la longueur. Lorsque le marteau tombe sur l'enclume, le

Fig. 2.



choc donne naissance au point de contact à deux pressions égales et contraires, dont la grandeur

$$P = \frac{\mu v_0}{2} = \frac{s V d}{g} \times \frac{v_0}{2}$$

dépend de la section et de la nature des cylindres, ainsi que de la vitesse au choc ou de la hauteur de chute du marteau, si l'enclume est immobile. La durée de ces pressions,

$$t = 2 \frac{l}{V} = 2 \Delta t,$$

dépend de la longueur du marteau et de la vitesse des pressions dans la matière qui le compose. Comme on dispose de la hauteur de chute et de la longueur des barres, on peut toujours régler la grandeur et la durée de la pression P.

Pour contrôler l'exactitude de ce tracé, nous avons réalisé une expérience de choc dans les conditions suivantes :

	Diamètre.	Longueur.	$\Delta t^{(1)} = \frac{\rho}{V}$	Poids.	Nature.
Marteau.....	48 ^{mm}	2 ^m	$\left(\frac{4}{10000}\right)''$	28 ^{kg}	fer
Enclume....		5 ^m	$\left(\frac{1}{1000}\right)''$	70 ^{kg}	

La partie essentielle de l'installation est représentée par la photographie ci-après.

Le marteau est guidé dans sa course par un tube de 50^{mm} de diamètre intérieur, qui décroise l'enclume, de façon à ce que les deux cylindres aient exactement la même direction, et que le choc se produise bien carrément. Le tube est assez long pour permettre une chute de 3^m,50 de hauteur, l'enclume est suspendue à l'intérieur, comme le montre la figure 5, par deux chevilles opposées en étain, dont la résistance est assez faible pour que le poids seul de l'enclume les cisaille au bout d'un certain temps. Dans ces conditions, il suffit d'un effort très modéré pour rompre les chevilles, et pour que l'enclume se trouve abandonnée dans l'espace; comme d'autre part, le choc dure très peu de temps,

$$2 \Delta t = 2 \times \frac{2}{5000} = \left(\frac{8}{10000}\right)''$$

environ, l'effet de la pesanteur est négligeable pendant la durée du phénomène

$$e = \frac{1}{2} g (2 \Delta t)^2 = g \frac{31}{10000000} = 0^{\text{mm}},0031,$$

et le choc peut être considéré comme ayant lieu entre deux corps libres.

Nous avons été conduit à adopter de grandes longueurs pour le marteau et l'enclume, afin de pouvoir apprécier plus facilement les déplacements de l'extrémité de celle-ci pendant le temps très court $\left(\frac{2}{1000}\right)''$, que l'onde comprimée met à la parcourir aller et retour. Le diamètre des barres devait être suffisant pour que la matière ne flambe pas sous l'effort de compression, ce qui aurait troublé le phénomène; nous nous étions assuré, par une expérience en petit, que les proportions adoptées étaient suffisantes à ce point de vue; la durée des compressions semble d'ailleurs bien courte pour que les flexions transversales aient le temps de se produire.

L'enregistrement du mouvement des extrémités du marteau et de l'enclume, voisins du point d'impact, se fait à l'aide d'indices élastiques fixés à

(¹) La valeur de Δt est calculée en admettant que $V = 5000^{\text{m}}$.

*rvant de
narteau.
du tube
nt l'en-*

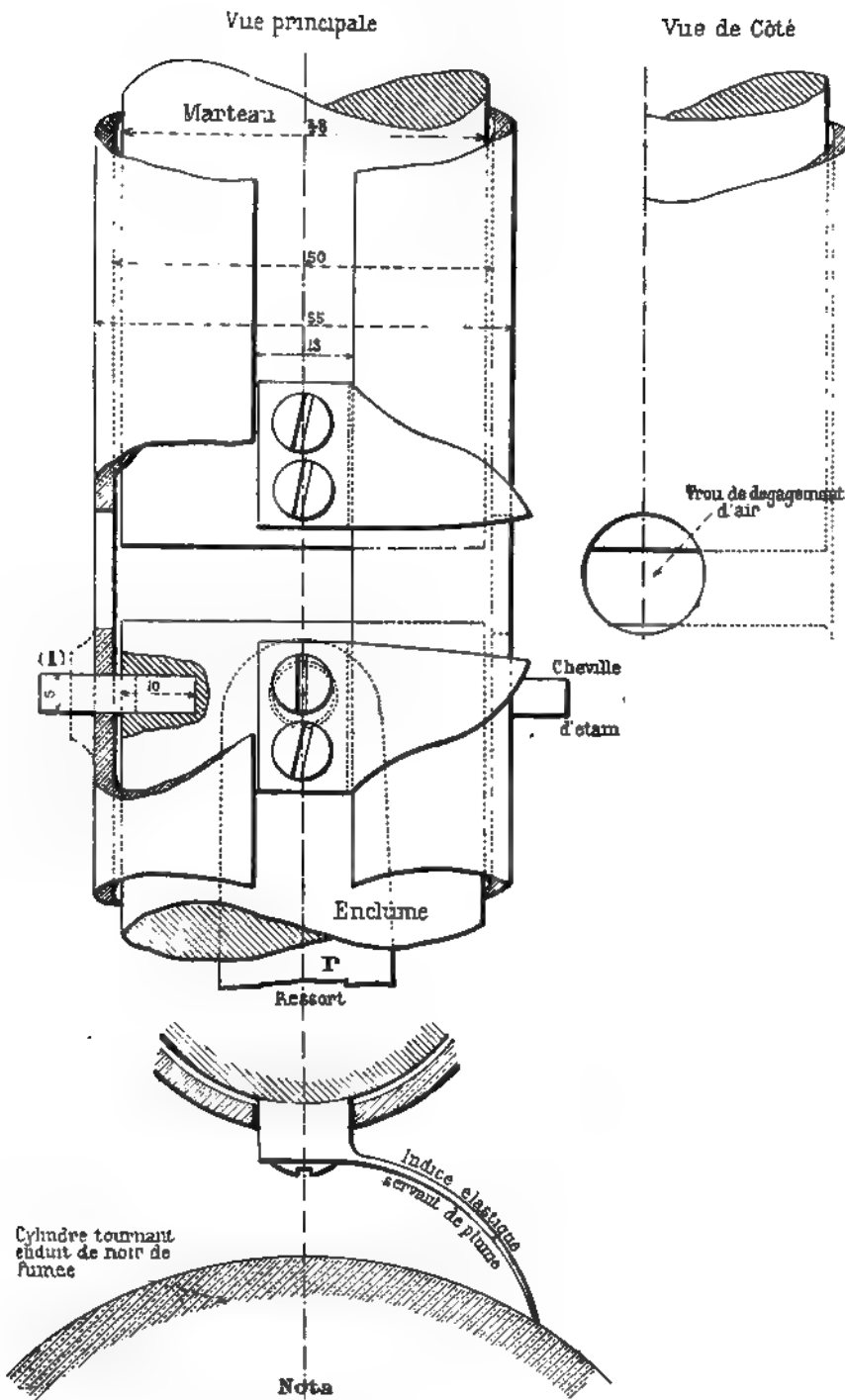
ervant de

*tournant
noir de*

NOTA. — La valeur de Δt est calculée en admettant que $V = 5000^m$.

Fig. 5.

Vraie grandeur



cet effet sur les barres (*fig. 5*), et qui servent de plume; chaque indice est terminé par une pointe, qui trace le mouvement de l'extrémité correspondante, en appuyant sur un cylindre tournant recouvert de noir de fumée. Ce cylindre reçoit d'une petite dynamo, montée sur son axe, un mouvement rapide de rotation dont on mesure la vitesse, au moment du choc, à l'aide d'un diapason. Dans ces conditions, les temps sont proportionnels aux distances qui séparent les génératrices du cylindre enfumé, et les chemins parcourus dans le sens vertical se mesurent en vraie grandeur suivant les génératrices.

Le tracé obtenu sur le cylindre enfumé se reporte facilement sur du papier préparé au zinc, en faisant rouler le premier sur le second, et fixant ensuite. La figure 6 donne la reproduction photographique d'un de ces diagrammes.

Fig. 6. — Diagramme d'un choc (vraie grandeur).

Vitesse circonférencielle du cylindre enfumé.....	^m 9,72
Hauteur de chute du marteau <i>h</i>	1
Vitesse calculée : $v = \sqrt{2gh}$	4,43
Vitesse initiale observée : v_0	4,40
Vitesse commune observée (1 ^{er} crochet) et = ω	2,36
Vitesse observée dans les autres crochets	4,73
Vélocité $V = \frac{10^6}{5 \Delta t}$	5240
Pression unitaire : p environ	8 ^{re} ,9

On constate de suite la ressemblance du diagramme avec notre tracé de 1903, les angles résultant du mouvement saccadé sont aussi vifs sur l'un que sur l'autre.

Le diagramme indique parfaitement toutes les phases du phénomène.

1^{re} La vitesse initiale du marteau observée est inférieure de quelques centimètres à la vitesse calculée d'après la hauteur de chute, ce qui

s'explique par la résistance de l'air, et par les frottements qui peuvent se produire.

2° Le rebondissement du marteau est à peine sensible sur le diagramme ; même en tenant compte de l'action de la pesanteur, et de l'influence que peut avoir le frottement, il est très faible. Ce résultat est conforme à la nouvelle théorie. D'après l'ancienne théorie, qui fait entrer dans le calcul les masses en présence, sans tenir compte de la manière dont elles sont influencées, on trouverait, en appliquant les formules usuelles,

$$v_2 = \frac{(m - m') v_0 + 2 m' v'_0}{m + m'} = \frac{m - m'}{m + m'} v_0 = - 0,43 v_0.$$

L'expérience montre que v_2 est très faible, mais les différences constatées entre les vitesses, observées et calculées dans les crochets, montrent que l'effet de la couche d'air interposée, de l'état des surfaces, etc., n'est pas négligeable.

3° La vitesse commune des parties en contact du marteau et de l'enclume diffère peu de la vitesse initiale du marteau, comme l'indique la théorie d'après laquelle

$$u_a = \frac{1}{2} v_0$$

pendant le temps $t = \Delta_1 t + \Delta t$.

Cette vitesse commune est aussi la vitesse de la matière dans les ondes comprimées et déprimées :

$$\omega = u_a = p \sqrt{\frac{g}{d E}} \quad \text{ou} \quad p = \omega \sqrt{\frac{d E}{g}} \quad \text{et} \quad Pa = ps.$$

Sa grandeur est la plus difficile à déterminer pour plusieurs motifs : elle dure fort peu de temps, la plume a forcément une certaine vibration au moment du choc, en sorte que cette partie du tracé est la moins nette ; enfin la plume ne fait pas corps avec l'enclume, et n'est pas fixée tout à fait à son extrémité, ce qui peut occasionner une légère erreur. Quoi qu'il en soit, la vitesse commune observée est un peu supérieure à la moitié de la vitesse initiale du marteau, ce qui est la conséquence du rebondissement. Le milieu de la barre ayant alternativement des vitesses nulles et égales à ω , l'enregistrement de son mouvement permettrait d'avoir une valeur plus exacte de ω .

4° Le mouvement saccadé de la partie supérieure de l'enclume accuse les ondes alternativement comprimées et déprimées, qui parcourent cette barre d'une extrémité à l'autre.

La première partie inclinée représente la période pendant laquelle les extrémités du marteau et de l'enclume sont en contact, et ont même vitesse. Les paliers correspondent aux temps pendant lesquels l'extrémité supérieure de l'enclume reste en repos, l'onde de déformation se propageant dans le

reste de la barre. Enfin les parties très inclinées représentent les périodes de temps, pendant lesquelles l'extrémité de l'enclume a, d'après la théorie, une vitesse égale à celle du marteau avant le choc,

$$v_0 = 2u_a = 2w.$$

De fait cette vitesse est un peu supérieure à la vitesse initiale du marteau, ce qui s'explique par l'action de la pesanteur, et par le léger rebondissement qui se produit.

L'ensemble d'une partie inclinée et d'un palier correspond au temps nécessaire à la transmission des effets du choc de la partie supérieure à la partie inférieure de l'enclume, et retour à la partie supérieure,

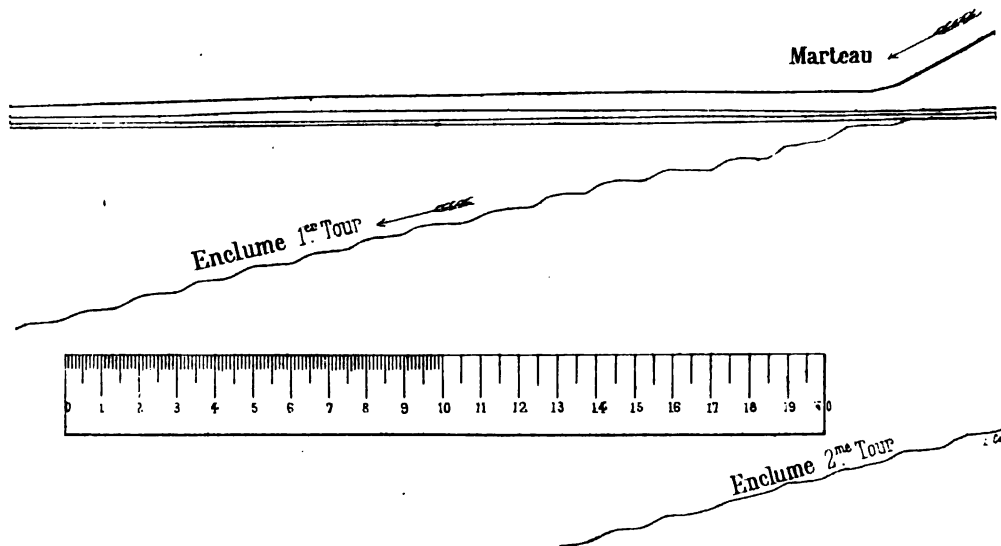
$$(2 + \frac{1}{2}) \Delta t \times 2 = 5 \Delta t = \frac{19,1}{10000};$$

ce temps est le même pour tous les crochets, il permet de calculer la vitesse des pressions dans la matière qui compose l'enclume :

$$V = \frac{10}{5 \Delta t} = \frac{100000}{19,1} = 5240^m.$$

5° Le mouvement saccadé persiste après le choc, comme le montre la figure 7.

Fig. 7. — Diagramme d'un choc (demi-grandeur).



Les crochets conservent leur netteté pendant un certain temps, puis les angles s'arrondissent; en même temps ils se déforment sous l'action de la pesanteur, dont le mouvement en forme de parabole se combine avec le

mouvement saccadé résultant du choc; les paliers notamment s'inclinent de plus en plus.

En allongeant le tambour tournant, on pourrait déterminer plus directement la valeur de V , et mesurer les variations de longueur de l'enclume, suivant qu'elle est comprimée ou dilatée; il suffirait pour y arriver d'installer, sur cette enclume, une seconde plume à 4^m de distance de la première. On observerait, entre l'origine des crochets correspondant à la même onde et distants de 4^m , un décalage dû à la vitesse V , et qui donnerait sa grandeur; de plus on constaterait des variations dans la distance des deux plumes suivant l'état de la matière : elle est de 4^m à l'état naturel, elle se réduit à $4^m(1 - \alpha)$ au passage de l'onde comprimée, et devient $4^m(1 + \alpha)$ au passage de l'onde dilatée; la mesure de α permettrait de déterminer la valeur du coefficient d'élasticité, car on sait que $p = \alpha E$.

En augmentant de plus en plus la vitesse du marteau, on atteindrait d'abord la limite de l'élasticité, et on le constaterait soit par la déformation permanente, soit par le dépoli de la surface (procédé Frémont). En continuant à faire croître la vitesse, on obtiendrait des déformations permanentes de plus en plus accentuées, dont on pourrait déterminer la vitesse en mesurant la longueur de la partie déformée pendant le choc, dont la durée est connue.

Nous pouvons dire que la précision et la netteté des résultats obtenus ont dépassé nos espérances. Il est à remarquer qu'en opérant sur de grandes dimensions, comme nous l'avons fait, on évite l'emploi d'appareils de haute précision pour les mesures, et l'on réduit notablement les perturbations dues à des causes secondaires comme les défauts de la matière, le bombé des surfaces, etc., perturbations qui avaient une influence prépondérante dans les expériences de Voigt.

En résumé, l'expérience réalisée est concluante, et confirme pleinement la théorie du choc, telle que nous l'avons exposée dans nos études précédentes. L'enregistrement du mouvement des extrémités voisines du marteau et de l'enclume nous a permis de déterminer toutes les données du phénomène élastique :

$$V, \omega, p, P.$$

Avec une installation appropriée on pourrait déterminer, d'une façon analogue, la limite de l'élasticité, et les éléments relatifs aux déformations permanentes qui se produisent lorsque la limite élastique est dépassée; mais pour obtenir ce résultat il faudrait imprimer au marteau une très grande vitesse, ce qui entraîne une certaine complication des appareils.

REMARQUES

SUR

L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA CIRCULATION

DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR,

PAR M. EMANAUD,
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

En présence de la difficulté de prévoir par le raisonnement les phénomènes qui se passent dans les générateurs de vapeur, on a été conduit à les étudier dans des appareils de laboratoire, complètement en verre, ou munis de regards transparents convenables. On a donné à ces appareils la forme des éléments constitutifs des chaudières, ou bien on a reproduit dans tous leurs détails les dispositions de types de générateurs déterminés, de façon à avoir un véritable modèle à échelle réduite.

Parmi les plus connues de ces expériences, nous pouvons citer celles de MM. Babcock, Solignac, Bellens, Thornycroft, Yarrow, Watt, Watkinson. Leur exposé le plus complet paraît être celui de M. de Chasseloup-Laubat (¹), qui reprit tous les essais antérieurs, vit fonctionner la plupart des appareils originaux et opéra, non sur un type particulier, mais sur des modèles reproduisant les dispositions de principe des diverses chaudières utilisées.

Cette étude expérimentale a permis de fixer quelques points intéressants sur les mouvements que donnent à l'eau les différences de température des diverses parties de la surface de chauffe, et le dégagement des bulles de vapeur; mais on a contesté sa valeur, en objectant que les phénomènes qui se passent à l'air libre dans un appareil en verre médiocrement chauffé n'ont rien de commun avec ceux qui se passent en réalité dans une chaudière.

Effectivement, les dimensions de l'appareil, dans leurs valeurs absolues et dans leurs rapports, l'absence de pression, le défaut d'uniformité de la

(¹) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, avril 1897.

chauffe, la température de la source de chaleur, la nature de l'eau qui intervient par sa tension capillaire, et surtout la nature des parois ont sur la marche des phénomènes une importance considérable. Mais, si la valeur de cette étude expérimentale est discutable, elle n'est pas nulle, et, par la discussion précisément des résultats, on peut distinguer les points véritablement acquis de ceux qu'on ne peut pas encore affirmer, et voir dans quel sens il faut orienter les recherches qui restent à faire.

La plupart des observations qui suivent ont été notées sur un appareil particulier, modèle de *générateur Pluto*, mais elles sont générales, et pourraient être faites sur la plupart des appareils employés, pourvu qu'ils répondent à deux ou trois conditions spéciales.

Ce modèle, dont nous donnons une photographie (*fig. 1*), comprend trois éléments tubulaires doubles, exactement semblables à des éléments *Pluto* de 2^m,00 de longueur utile, le rapport de similitude étant d'environ 0,35. Ces trois éléments aboutissent à une lame d'eau à parois latérales en verre, disposée de façon à pouvoir être à volonté : non cloisonnée, avec retour d'eau latéral, ou divisée en deux compartiments, l'un réservé à la descente de l'eau alimentant les tubes de circulation, l'autre réservé à l'ascension de la vapeur et de l'eau vaporisée provenant des espaces annulaires, compris entre les tubes de circulation et les tubes vaporisateurs.

La lame d'eau est ouverte, et l'appareil fonctionne à la pression atmosphérique.

Des ajutages d'alimentation directe et individuelle sont installés en face des tubes de circulation des deux éléments inférieurs, et sont reliés à un réservoir d'eau.

Le tube vaporisateur supérieur est complètement en verre; le tube vaporisateur inférieur est en acier, mais il présente une virole en verre à l'extrémité libre; le tube vaporisateur intermédiaire est en partie en acier, et présente une virole en verre à son extrémité libre, et une autre du côté de la lame d'eau, pour permettre l'observation directe des courants intérieurs, qu'il n'est pas toujours suffisant d'étudier au débouché dans la lame d'eau. Cette disposition très importante sera justifiée par la suite.

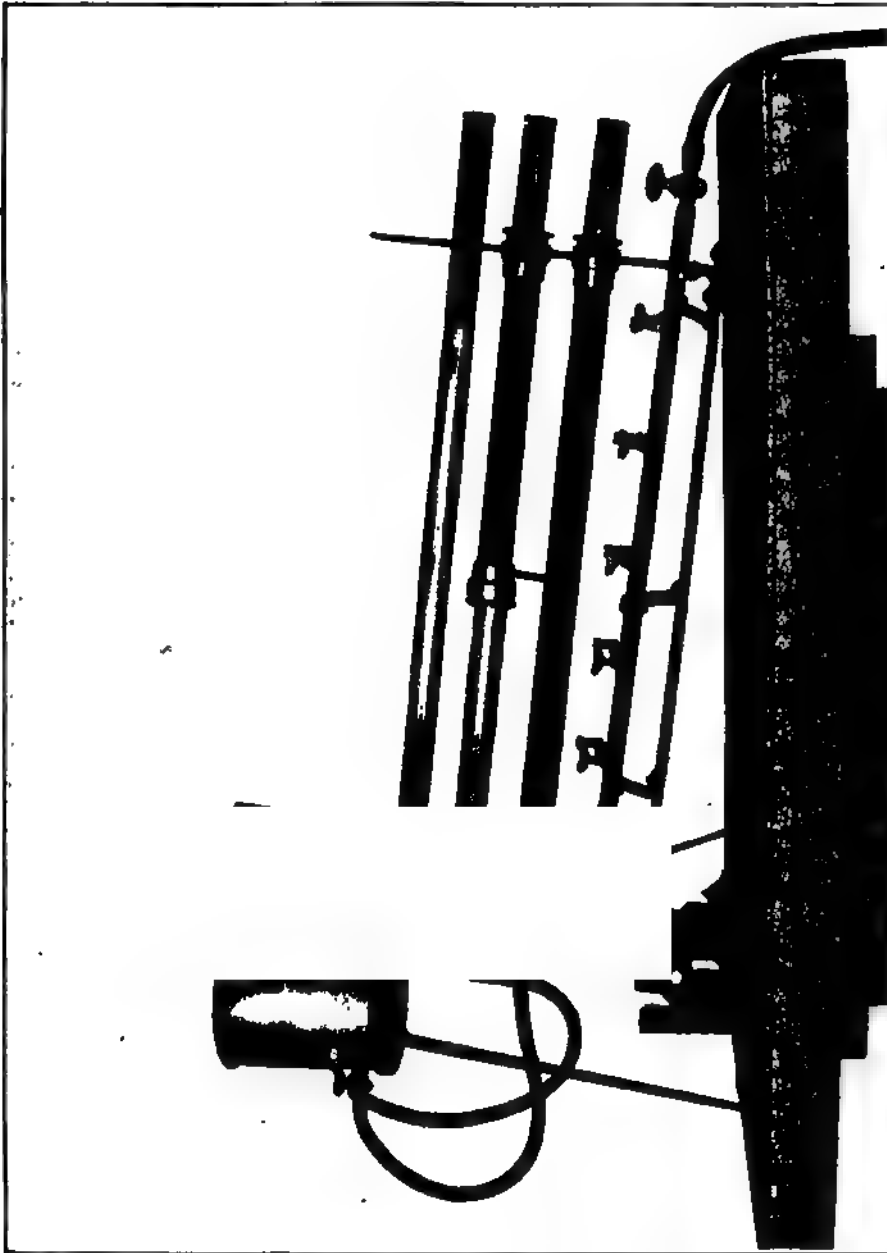
Des tubes intérieurs de circulation, en verre et en laiton mince, peuvent être utilisés alternativement, de façon à varier les conditions d'une expérience à l'autre.

L'ensemble est chauffé au gaz au moyen d'une série de becs Bunsen, qu'on peut allumer séparément pour produire une chauffe plus ou moins continue, localisée au besoin en un seul point du tube. On peut aussi substituer à cette rampe une grille à charbon de bois, donnant un chauffage particulièrement régulier, et continu sur toute la longueur des tubes.

Ces dispositions ne sont d'ailleurs pas toutes indispensables pour l'objet de cette étude, mais les détails relatifs à la nature des tubes et au mode

de chauffage sont à noter, parce qu'ils permettent des remarques intéressantes.

Fig. 1.



Modèle de générateur Plato.

Examinons successivement les causes de désaccord entre le fonctionnement du modèle de laboratoire et celui de la chaudière réelle : dimensions de

l'appareil, absence de pression, défaut d'uniformité de la chauffe et de conductibilité des parois, phénomènes d'ébullition.

I. — Dimensions de l'appareil.

Pour voir l'influence des dimensions, il suffit de se rappeler comment se produisent les mouvements de circulation : une bulle de vapeur isolée dans le liquide tend à s'élever par suite de la poussée qu'elle subit. Dans son mouvement, elle éprouve des résistances de la part des molécules qui l'entourent, et elle exerce sur elles des réactions égales et directement opposées. Sans savoir comment ces résistances se composent entre elles et avec les forces de cohésion, on peut, au moins pour une bulle de faible diamètre, les remplacer par une force unique, dirigée, à chaque instant, en sens contraire de la vitesse de la bulle, et fonction de cette vitesse. Par sa réaction égale et opposée, la bulle communique à l'eau un certain mouvement, exactement de la même manière qu'une sphère solide de même diamètre, que l'on déplacerait avec la même vitesse. C'est encore d'une façon analogue qu'on peut mettre l'eau en mouvement au moyen d'une baguette dans un caniveau horizontal de longueur indéfinie ou fermé sur lui-même.

Lorsque le mouvement de la bulle qui s'élève verticalement dans le liquide est uniforme, la résistance qu'elle éprouve et, par suite, sa réaction sur les molécules liquides sont égales en valeur absolue à la force que produit le mouvement, c'est-à-dire à la poussée (en négligeant son propre poids).

Si l'on considère simplement une bulle isolée dans une grande masse d'eau, l'entraînement des molécules dans le sens de la bulle est insensible; mais, pour un grand nombre de bulles s'élevant dans un tube vertical muni d'un retour d'eau, l'entraînement de l'eau est manifeste, et d'autant plus grand, que la proportion de vapeur dans le mélange d'eau et de vapeur est plus considérable.

Dans les cas très simples, comme celui du tube en U à branches verticales débouchant dans un réservoir supérieur, et dont une seule est chauffée, il n'y a pas de doute, *a priori*, sur le sens du mouvement; il n'en est plus de même dans les générateurs constitués par une combinaison plus ou moins compliquée de tubes, de collecteurs, de lames d'eau et de réservoirs. Le mouvement du mélange de vapeur et d'eau est affecté par les variations de section du passage qui lui est offert, par les changements brusques de direction, la bifurcation du canal, ou au contraire la rencontre d'un autre courant venant se réunir à lui; si plusieurs chemins sont offerts à la vapeur, et il y en a toujours au moins deux dans les chaudières à *cycle réversible*, les obstacles à la circulation répartis sur chacun d'eux peuvent modifier le sens du mouvement.

Par exemple, une diminution de section, un étranglement ou un changement brusque de direction, dans les parties où se trouvent à la fois de l'eau

et de la vapeur, peuvent, en dehors de leur action sur la vitesse du courant, produire, par suite des remous, une agglomération des bulles de vapeur, qui se groupent entre elles pour former des poches de grand volume. Le fonctionnement est tout autre que si cet étranglement n'existait pas.

Il importe donc de reproduire très exactement sur l'appareil d'essai le détail des dispositions du générateur ou de l'élément du générateur que l'on a en vue. La chaudière réelle et son modèle doivent être *semblables*, au sens géométrique du mot.

L'influence du rapport des dimensions apparaît clairement. Il est bien évident, par exemple, que, pour un tube Field, le rapport des diamètres du tube extérieur et du tube intérieur, et surtout leurs rapports à la longueur du tube peuvent influencer sur le fonctionnement; que, pour un tube tenu à ses deux extrémités dans les collecteurs, les rapports des sections des collecteurs et du tube ont une influence certaine; que la pente de certaines parties est un facteur de première importance dans l'établissement des courants de circulation.

Comme il est difficile de prévoir comment agissent toutes ces influences réunies, qu'il est impossible de calculer les corrections que devraient subir les résultats, il est beaucoup plus simple de se mettre à l'abri de ces causes d'erreur, en conservant exactement les dimensions du générateur, tel qu'il est construit pratiquement, ou tel qu'on a l'intention de le construire.

Il est, en général, possible de réaliser cette similitude du générateur étudié et du modèle; cependant on peut rencontrer quelques difficultés, parmi lesquelles la plus fréquente résulte de la nécessité de limiter le nombre des éléments reproduits.

Supposons qu'on veuille étudier expérimentalement le fonctionnement d'une chaudière ayant 10 ou 15 tubes aboutissant à un même collecteur. Il serait peu pratique et d'ailleurs inutile de reproduire en verre la totalité des tubes; il ne serait pas suffisant d'en mettre un seul, parce que, dans la plupart des chaudières, les tubes ne sont pas indépendants, et agissent les uns sur les autres; on peut se contenter d'en établir trois ou quatre. On dispose, en effet, de l'intensité et de la répartition de la chauffe, qui sont susceptibles de varier dans des limites très étendues; on peut observer simultanément un tube correspondant à un tube de coup de feu, un tube du milieu du faisceau, un tube du haut, ou bien chauffer énergiquement tous les tubes à la fois; on peut, en un mot, suppléer par le nombre des expériences à l'absence de quelques tubes. Cela peut conduire à modifier des dimensions de détail, comme l'espacement des tubes, qui intéresse peu la circulation; mais il faudra étudier avec soin dans chaque cas particulier les grandeurs qui peuvent être altérées sans inconvénients.

Dimensions absolues du modèle. — La nécessité de cette similitude entre le générateur et son modèle en verre étant admise, il reste à déterminer le

rapport de similitude, c'est-à-dire à choisir l'une des dimensions de l'appareil. La plus intéressante à considérer est le diamètre des tubes où se fait la vaporisation, et il paraît convenable, en règle générale, de choisir le plus grand diamètre compatible avec les conditions diverses, que peuvent imposer la construction de l'appareil, son installation, sa mobilité, ou la possibilité de trouver des tubes en verre de ce diamètre ayant la longueur voulue, et susceptibles de supporter la chauffe sans trop de risques de rupture.

En effet, le sens et la vitesse de circulation dépendent du volume total de la vapeur. Lorsque le volume des bulles les plus grosses reste assez inférieur au diamètre des tubes, et lorsque ces bulles sont assez peu nombreuses pour circuler individuellement, et ne pas s'agglomérer en grosses poches tenant tout le diamètre du tube, la circulation s'améliore quand le volume de vapeur augmente. Tout se passe comme si les colonnes liquides parcourues par de la vapeur étaient des colonnes d'un fluide particulier, homogène, plus léger que l'eau, dont la densité varierait en raison inverse du volume de la vapeur dans le mélange ⁽¹⁾.

Le volume de la vapeur apparaît ainsi, pour un appareil déterminé, comme le seul facteur de la circulation, l'action des différences de densité dues aux différences de température étant comparativement très faible, parce que, dans une chaudière où la circulation existe tant soit peu, les différences de température sont négligeables.

Ceci suppose que le diamètre des bulles n'est pas comparable à celui du tube, et qu'elles ne peuvent pas l'obturer complètement, de façon à former des pistons de vapeur. Les poches qui se dégagent produisent alors aussi une circulation énergique, d'allure spéciale, non plus par entraînement, par suite de la viscosité et de la cohésion de l'eau, mais en la chassant devant elles.

Comme précédemment, les colonnes mixtes, formées de poches de vapeur alternant avec des masses d'eau, exercent des pressions qui varient en raison inverse de la hauteur totale occupée par la vapeur, et l'on peut dire que le volume de vapeur est encore à peu près le facteur unique des phénomènes observés, puisque la température, qui seule pourrait intervenir aussi, doit être considérée comme uniforme dans toute la masse perpétuellement agitée.

Si la circulation ne dépend ainsi que du volume de la vapeur, il faudra, lorsqu'on voudra étudier le fonctionnement du générateur à une allure de vaporisation déterminée, chauffer le modèle de telle sorte, que le volume de

(1) D'une façon précise, d'après M. Brillié (*Bulletin n° 9 de l'Association Technique Maritime*, 1898) la pression statique sur le fond d'une éprouvette à parois verticales, parcourue par des bulles de vapeur en mouvement ascensionnel uniforme, est égale à la somme du poids de l'eau et du poids des bulles, et différente de la pression qui résulterait de la hauteur du liquide au repos.

vapeur qu'il produit soit au volume de la vapeur produite par le générateur véritable dans le même temps, comme le cube de son rapport de similitude avec ce générateur. Nous dirons alors que les appareils sont comparés à *des allures de vaporisation correspondantes*.

Or, toute chaudière doit être étudiée dans les limites de chauffe les plus étendues, depuis celles qui donnent lieu à une vaporisation très faible, jusqu'à celles qui correspondent à un violent tirage forcé. Si l'on opère sur des tubes de faible diamètre, 0^m,02 ou moins, on atteindra très vite, et avec un chauffage faible, le moment où la vapeur arrive à occuper la section totale du tube. La progression des chauffe que l'on peut étudier se trouve très courte, et l'on s'interdit l'observation des phénomènes qui se produisent aux allures tranquilles, les plus employées dans la pratique.

Avec des tubes de moins de 0^m,01, et dans des conditions que nous précisons plus loin, il pourrait être absolument impossible d'obtenir des bulles de vapeur ne formant pas piston dans le tube.

C'est donc pour élargir les conditions dans lesquelles on peut opérer, pour augmenter la portée des expériences, qu'il y a intérêt à avoir des tubes d'aussi fort diamètre que possible. Si l'on a besoin de tubes un peu longs, 0^m,80 ou 1^m,00, il est difficile de trouver couramment des diamètres supérieurs à 33^{mm} ou 35^{mm}; mais, avec ces dimensions, les phénomènes sont très nets, et la chauffe n'a pas besoin d'être conduite avec des précautions exagérées pour éviter les ruptures.

II. — Absence de pression.

Ces appareils de démonstration fonctionnent d'habitude à la pression atmosphérique. L'absence de pression intervient de deux manières : directement, parce que le volume d'un poids donné de vapeur est plus grand que dans le générateur réel, et d'une façon indirecte, parce que la température de l'eau est moins élevée.

Cette différence de températures, qui peut atteindre plus de 100°, intervient parce qu'elle entraîne une variation notable de la tension superficielle de l'eau au contact de sa vapeur ou des surfaces vaporisatrices. Nous réserverons son étude pour un des paragraphes suivants, où nous ferons voir la grande importance des phénomènes d'ébullition.

Quant à l'augmentation du volume de la vapeur, il a l'heureux effet de faciliter beaucoup l'étude des chauffe à outrance. Si l'on fait fonctionner une chaudière d'abord à 10^{kg}, puis à 5^{kg}, il faudra, pour obtenir les mêmes phénomènes intérieurs de circulation, produire le même volume de vapeur, et par suite vaporiser, dans le premier cas, approximativement deux fois plus d'eau que dans le second, dans le même temps, c'est-à-dire doubler et au delà, par suite de la diminution de rendement, la quantité de charbon brûlé par mètre carré de grille et par heure. On observera donc le fonction-

nement aux allures extrêmement vives avec d'autant plus de facilité, que le générateur réel sera timbré à une pression plus élevée. Il suffira de se souvenir que le volume de la vapeur varie en raison inverse de la pression, et d'en tenir compte dans le calcul des *allures de vaporisation correspondantes*.

Une des raisons d'être, dans notre modèle, du tube vaporisateur métallique, beaucoup plus facile à chauffer que les tubes de verre, est de permettre l'étude de la circulation à des chauffes correspondant à des allures bien supérieures à celles qu'on peut atteindre en pratique exceptionnellement, et pendant de courts instants.

On objectera que le fonctionnement à l'air libre a l'avantage de réaliser dans l'appareil une constance de la pression, qui concourt beaucoup à la régularité des phénomènes.

Au contraire, les générateurs véritables sont soumis dans leur fonctionnement à de nombreuses variations de pression. Les unes sont lentes, et sont dues à la conduite irrégulière des feux, de l'alimentation, etc. Elles sont sans inconvénient, parce que les variations de la température de l'eau suivent celles de la pression, et que l'équilibre subsiste. D'autres, par contre, sont plus brusques, et se produisent lorsqu'on ouvre sans précaution les prises de vapeur, ou lorsque les soupapes lèvent. Elles peuvent être graves si elles sont instantanées, parce qu'il y a dépression brusque, que l'eau n'est plus soumise à la pression qui correspond à sa température, et qu'il se produit très vite une grande quantité de vapeur pour reproduire cette pression. Il se forme sur tous les points des surfaces de nombreuses bulles de vapeur, et il en résulte une modification du régime circulatoire, accusée d'ailleurs pratiquement par des entraînements d'eau.

Dans l'impossibilité de faire varier la pression dans les modèles en verre, il faudrait, pour reproduire les phénomènes qui en sont la conséquence, faire varier la chauffe, de façon à modifier brusquement la température de l'eau. Malheureusement il est impossible de faire varier la température avec la même rapidité que la pression, surtout avec des tubes de verre fragiles, et l'on doit renoncer à l'observation directe des effets produits.

Il y a d'ailleurs à cela une autre cause. On ne peut pas dire qu'il n'y a, dans une diminution brusque de pression, qu'un passage très rapide d'une allure de vaporisation lente à une autre allure beaucoup plus vive, parce que, dans un tel passage, la vaporisation continue toujours à se faire sur les mêmes surfaces, celles qui reçoivent les calories du foyer, tandis que, dans une diminution brusque de pression, si la température est uniforme, la vaporisation peut se faire en tous les points des surfaces métalliques, même celles qui ne sont pas directement chauffées.

L'appareil de laboratoire, tel qu'il est généralement conçu, ne permet pas l'étude expérimentale de ces phénomènes. Il montre le fonctionnement de la chaudière en *marche normale*, mais il n'autorise pas à affirmer qu'aucune

anomalie autre qu'une augmentation de vitesse n'est produite dans la circulation par une diminution brusque de la pression.

III. — Défaut d'uniformité de la chauffe et de conductibilité des parois.

Le chauffage est obtenu le plus généralement au moyen de rampes à gaz, de becs Bunsen, ou de lampes à alcool.

Le défaut de ces appareils, particulièrement caractérisé s'ils sont immobiles, est de localiser la chauffe en quelques points seulement, et il est encore aggravé par ce fait, que les parois des tubes de verre sont mauvaises conductrices de la chaleur, et ne répartissent pas les calories qu'elles reçoivent, comme pourrait le faire une paroi métallique.

L'effet sur la circulation est plutôt nuisible, et il est facile de le constater en chauffant en un seul point un modèle en verre, préalablement mis en route jusqu'au régime régulier. Si l'on a eu soin de mettre en suspension dans l'eau de la sciure de chêne, qui se laisse, malgré sa densité légèrement supérieure à 1, entraîner par les moindres courants, on observe des remous, et un dépôt de sciure en amont du point chauffé.

Ces remous sont localisés sur une très petite longueur, et paraissent dus à l'augmentation rapide de la proportion de vapeur dans le mélange d'eau et de vapeur qui parcourt le tube. Ils sont, en effet, d'autant plus accusés, que le chauffage concentré en un point est plus énergique. La formation des bulles au point chauffé fait le même effet qu'une diminution de section, et produit, en outre, une certaine agitation locale.

L'expérience est surtout très nette lorsqu'on utilise un seul bec, parce que la vaporisation est faible, et la circulation relativement lente. Les remous sont bien moins sensibles, si l'on fait l'expérience sur un seul tube, en continuant à chauffer les autres normalement.

Il n'en est pas moins vrai que l'uniformité de la chauffe est un élément de régularité pour la circulation, et la différence est très facile à constater en allumant plusieurs becs, ou en échauffant l'appareil avec une grille à charbon de bois, comme celle qui a été utilisée à plusieurs reprises avec notre modèle de *générateur Pluto*.

Les générateurs véritables se trouvent à ce point de vue dans de bien meilleures conditions que les modèles de laboratoire; la chauffe a souvent la même intensité tout le long d'un élément, et ne varie que d'un élément à l'autre. Mais ceci est vrai aussi pour les chaudières dont le faisceau tubulaire est muni de chicanes, destinées à allonger le parcours des gaz chauds.

Ces chicanes sont disposées de deux façons principales : soit parallèlement aux tubes (c'est le cas de la plupart des chaudières aquitubulaires de la marine), soit perpendiculairement au faisceau, comme dans de nombreuses chaudières fonctionnant à terre, et munies de tubes très longs par rapport à leur diamètre. De toute façon, elles réalisent, pour quelques éléments dans

le premier cas, et pour tous les tubes du faisceau, dans le second, des différences dans l'intensité du chauffage sur diverses sections; mais, dans chacune de ces sections, il y a toujours production de vapeur, quoiqu'en plus ou moins grande quantité, et la conductibilité du métal des tubes contribue à adoucir les différences qui peuvent exister, et à rendre insensible le passage d'une section à la suivante.

Cette conductibilité a encore un autre avantage. Dans un tube de verre chauffé à la partie inférieure, chaque section transversale se trouve irrégulièrement chauffée, et le tube ne produit de la vapeur que le long de sa génératrice inférieure.

Dans le générateur véritable, il n'y a guère que les tubes de coup de feu, ceux qui reçoivent à la partie inférieure la chaleur rayonnée par le charbon incandescent, qui fonctionnent dans des conditions analogues; pour tous les autres, à parois conductrices, et enveloppés de tous côtés par des gaz à température uniforme, on peut dire que les conditions sont plus favorables que celles du modèle, au point de vue de la *régularité* de la circulation.

Sans pouvoir indiquer le degré de l'amélioration, on sait que, si l'on observe des phénomènes réguliers dans le modèle, ils ne seront pas altérés du fait de la chauffe, en passant au générateur réel.

La conductibilité des parois améliore la transmission de la chaleur à l'eau à vaporiser; elle n'a donc que des avantages pour les surfaces de chauffe, les surfaces vaporisatrices; mais il n'est pas évident qu'elle soit avantageuse pour toutes les parties des chaudières, et, en particulier, pour les surfaces de séparation établies à l'intérieur de la plupart d'entre elles pour canaliser les mouvements de l'eau.

Notre modèle de *générateur Pluto* en donne un exemple. Le tube de circulation concentrique au tube vaporisateur est en pratique un tube métallique mince. *A priori*, il ne semble pas utile qu'il y ait transmission facile de calories entre l'eau qui circule dans le tube et celle qui l'entoure. Il n'est pas évident même que cette conductibilité ne soit pas nuisible.

Assurément, les différences de température doivent être très faibles dans ce générateur en fonctionnement; le tube de circulation doit se mettre en équilibre de température avec l'eau, et aucune quantité importante de chaleur ne peut traverser ses parois. Toutes les calories qui traversent la surface de chauffe sont absorbées par la vaporisation, et l'élévation de la température de l'eau d'alimentation se fait aux dépens de la vapeur précédemment formée.

Mais, quelles que soient les conclusions du raisonnement, leur vérification expérimentale reste nécessaire, et il a paru utile de faire fonctionner l'appareil en employant comme tubes de circulation des tubes minces en laiton. L'observation était encore commode, puisque le tube extérieur restait en

verre, qu'on pouvait voir les courants de circulation comme d'habitude, et que les extrémités du tube métallique intérieur restaient visibles. Le fonctionnement n'a pas été modifié, et aucune bulle de vapeur ne s'est produite dans le tube de circulation.

Il est important, pour la généralité des conclusions, de se rapprocher ainsi des conditions pratiques, autant que la chose est possible, même lorsqu'il s'agit d'un point de détail.

IV. — Phénomènes d'ébullition.

Les phénomènes d'ébullition ont, sur la marche de l'expérience, une importance extrême, et souvent prépondérante. On sait la grande différence qui existe entre la façon de bouillir de l'eau récemment distillée à l'abri de l'air, et chauffée dans un ballon de verre à parois décapées avec soin aux acides, et de l'eau aérée et légèrement savonneuse, chauffée dans un ballon de verre simplement lavé à l'eau.

Dans le premier cas, la température peut s'élever jusqu'à 112° dans un vase ouvert, et il se produit brusquement des bulles énormes, qui se dégagent en projetant le liquide au dehors, et en faisant sursauter l'appareil, ou même en le brisant, si les ouvertures de dégagement ne sont pas suffisantes.

Dans le second cas au contraire, il se forme continuellement une multitude de bulles, qui ne se réunissent pas les unes aux autres, et s'élèvent séparément. Arrivées à la surface libre, elles ne se dégagent pas; elles soulèvent une mince pellicule liquide, et flottent à la surface. Elles s'accolent alors les unes aux autres, séparées par des membranes liquides, et forment une mousse très stable, qui s'accumule et s'élève dans la partie libre du vase.

Entre ces deux cas extrêmes, on peut d'ailleurs observer tous les modes intermédiaires, en variant les liquides ou les surfaces vaporisatrices.

Les profondes divergences qui existent quelquefois entre les auteurs rapportant des expériences analogues, le désaccord entre les expérimentateurs reprenant l'un après l'autre le même appareil, s'expliquent souvent par des différences à peine sensibles, et volontiers négligées, dans la nature de l'eau ou l'état de propreté des surfaces de chauffe.

Il suffit de sels dissous en proportions très faibles pour modifier du tout au tout l'allure du phénomène, comme si l'introduction des molécules de sels dissous parmi les molécules d'eau modifiait les forces de cohésion et, par suite, les actions capillaires.

Or, l'ébullition est un phénomène de capillarité, et dépend des tensions superficielles du liquide, au contact des surfaces de chauffe et au contact de sa vapeur.

Le passage de l'état liquide à l'état de vapeur se fait facilement à la surface libre, et plus généralement à la surface de séparation du liquide et de toute

atmosphère gazeuse, à toutes les températures pour lesquelles il existe une tension de vapeur sensible. Cette formation de vapeur constitue l'évaporation; elle ne cesse que lorsque la vapeur formée exerce sur le liquide une pression déterminée, dite *tension maxima* à la température considérée.

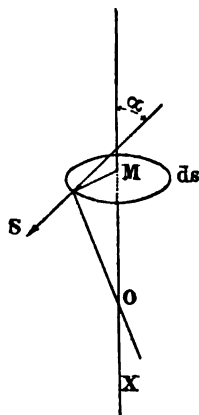
Au contraire, on n'observe jamais, sauf peut-être à la température critique, la formation de bulles de vapeur au sein même du liquide, et il en est de même pour tout dégagement gazeux à l'intérieur d'un liquide, qu'il s'agisse de gaz dissous ou provenant d'une décomposition électrolytique, chimique ou autre.

Mais lorsque la température atteint une valeur déterminée, variable avec les conditions de l'expérience, on observe la formation de bulles de vapeur au contact des corps solides, et en particulier au contact des parois chauffées du récipient. C'est le phénomène de l'ébullition, qui paraît, d'après les célèbres expériences de M. Gernez ⁽¹⁾, n'être qu'un cas particulier de l'évaporation, le liquide s'évaporant dans une bulle d'air ou de gaz quelconque primitivement adhérente aux parois.

Si l'on suppose la préexistence d'une bulle gazeuse, les phénomènes s'expliquent nettement. Considérons, en effet, une bulle sphérique, de volume supérieur à celui de la sphère d'activité moléculaire.

Soit (*fig. 2*) ds un élément de sa surface au voisinage du point M. Appe-

Fig. 2.



lons R le rayon de la sphère, P et p les pressions par unité de surface s'exerçant de part et d'autre sur l'élément, S la tension superficielle, c'est-à-dire la force qu'il faut appliquer par unité de longueur au périmètre dl de l'élément ds pour remplacer les actions capillaires lorsqu'on isole cet élément.

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. IV, 1875.

Les diverses forces se faisant équilibre, on a successivement :

$$(P - p) ds = S dl \cos \alpha,$$

$$(P - p) ds = S \times 2\pi dr \cos \alpha,$$

$$P - p = \frac{2S}{R}.$$

Il y a entre l'intérieur et l'extérieur de la bulle une différence de pression, qui est en raison inverse du rayon de la bulle.

Supposons le liquide à une température T fixe. Si la tension maxima de vapeur H , correspondant à cette température, est inférieure à P , l'évaporation de l'eau dans la bulle cessera dès que la vapeur aura acquis, dans le mélange de vapeur et de gaz, cette tension maxima, et aucun phénomène d'ébullition ne se produira.

Pour qu'il y ait ébullition, il faut que P soit égale à H , et que l'on puisse trouver une bulle gazeuse de rayon ρ tel que

$$H - p = \frac{2S}{\rho} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{2S}{H - p};$$

p est d'ailleurs déterminé en tous les points du vase. Il y a donc, à chaque température, une grandeur limite de la bulle gazeuse permettant à l'ébullition de se produire.

Si la température s'élève, H croît, et le rayon ρ de cette bulle limite diminue très vite, de sorte que, si petites que soient les bulles gazeuses adhérentes aux parois, on peut toujours, par une élévation de température, obtenir l'ébullition, et cela d'autant plus facilement que le liquide a, au contact de sa vapeur, une tension superficielle moins élevée.

On voit bien ainsi que la présence d'une bulle gazeuse est suffisante pour obtenir l'ébullition. Les expériences de M. Gernez tendent à prouver qu'elle est nécessaire. En pratique, on finit toujours par l'obtenir avec des élévations de température convenables, même pour des gouttes liquides en suspension dans d'autres liquides de même densité et moins volatils (expériences de M. Dufour).

D'ailleurs, la formule ne signifie plus rien si ρ devient de l'ordre de grandeur du rayon de la sphère d'activité moléculaire, ou si S s'annule; or, S diminue quand la température s'élève, et s'annule au voisinage de la température critique. Enfin, si la bulle se forme entre le liquide et la paroi solide, la tension superficielle du liquide au contact de la surface de chauffe intervient, sans qu'on puisse préciser comment, ni indiquer le rôle des aspérités de formes diverses.

Quoi qu'il en soit, on voit que la formation de la bulle dépend essentiellement des tensions superficielles du liquide au contact de sa vapeur et au contact de la paroi chauffée, et qu'elle dépend, par suite, du liquide, de la nature de la surface, de sa température, de son état plus ou moins poli, et

de la nature des impuretés qui peuvent la souiller, graisse ou autres.

Les recherches relatives à toutes ces questions sont extrêmement intéressantes; mais pour rester dans les limites de cette note, nous ne rappellerons que les faits dont nous avons strictement besoin; nous retiendrons seulement l'existence de ces facteurs, sans préciser leur action, et nous considérerons une bulle formée au contact de la surface de chauffe.

Les auteurs qui se sont occupés de la question ne sont pas d'accord sur la forme de la bulle à ce moment. Ils la présentent, soit comme une sphère rattachée à la paroi par un cercle de contact très petit, soit comme une demi-sphère reposant sur la paroi par son grand cercle, soit même comme passant d'une forme à l'autre.

« Dans tous les cas, dit Péclet (¹), il est très probable que les bulles de vapeur, avant de se détacher, prennent la forme d'une demi-sphère, dont la base s'appuie sur la chaudière, et qui se complète progressivement, et ne se détache que quand elle ne touche plus la chaudière que par un cercle très petit relativement à son diamètre. »

Il n'est pas douteux que la forme sphérique soit la règle lorsque le liquide mouille parfaitement la paroi. D'ailleurs, la forme dépend entièrement de l'équilibre moléculaire au contact de la paroi, et voici les formes types que l'on peut observer dans un vase métallique, à fond plat, poli, avec une faible hauteur d'eau.

1° *Eau pure (distillée mais aérée). Surface propre bien mouillée par l'eau.* — Ébullition très régulière, par bulles sphériques de 2^{mm} à 5^{mm} de diamètre, adhérant à la surface par un cercle très petit. Les points de formation des bulles sont nombreux.

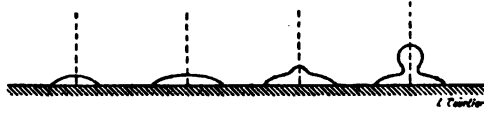
2° *Eau très légèrement savonneuse (0,01 pour 100 de savon de Marseille). Surface propre, très bien mouillée par l'eau.* — Ébullition très régulière et vive par petites bulles sphériques de moins de 1^{mm} de diamètre, extrêmement nombreuses, se formant sur toute la surface de chauffe, et se dégageant très vite.

3° *Eau pure (distillée mais aérée). Surface frottée avec un tampon imbibé d'essence de térébenthine; l'eau ne la mouille pas.* — Ébullition irrégulière; la vapeur ne forme pas des bulles sphériques, mais des poches analogues à une calotte sphérique rattachée à la surface de chauffe par le cercle de base. Leur volume augmente sans que la hauteur varie, jusqu'à ce que le cercle d'attache atteigne 15^{mm} ou 20^{mm} de diamètre. Elles pointent ensuite à la partie supérieure, et il se dégage une bulle qui laisse la poche primitive telle qu'elle était lorsque la partie supérieure a commencé à pointer. La

(¹) PÉCLET, *Traité de la chaleur*, t. II.

figure 3 donne les méridiennes successives de la surface de ces bulles, qui est de révolution. La paroi métallique est tout entière occupée par ces poches, et ne reste en contact avec l'eau qu'en une très faible partie de sa surface; certains points ne sont jamais en contact avec l'eau; la vaporisation

Fig. 3.



est ralentie. Un morceau de savon, dissolvant l'essence de térébenthine, rétablit immédiatement l'ébullition du deuxième cas.

Une bulle étant formée au contact de la paroi chauffée, le liquide reçoit de nouvelles calories, et s'évapore dans la bulle.

Reprenons les formules

$$H = p + \frac{2S}{\rho}, \quad P = p + \frac{2S}{R}.$$

A partir du moment où la température a atteint la valeur T , pour laquelle la tension maxima correspondante satisfait à la première de ces formules

$$H = p + \frac{2S}{\rho},$$

l'équilibre est rompu, et le volume augmente. R augmentant à partir de ρ , le second membre diminue, la tension P , qui règne dans la bulle et reste égale à $p + \frac{2S}{R}$, diminue, et l'évaporation continue pour rétablir la tension H , d'autant plus rapidement que la température T était plus élevée par rapport à celle qui correspond à la pression p , c'est-à-dire d'autant plus vite que ρ était plus petit et l'ébullition plus retardée. La limite de P est p , égale à la pression que supporte le liquide, et le volume augmente indéfiniment.

En pratique, cette augmentation de volume a une limite, parce qu'il arrive un moment où la bulle se détache de la surface de chauffe, et où le liquide voisin ne reçoit plus directement de calories. La chaleur de vaporisation étant empruntée à lui-même, il se refroidit, et arrive à une température T' , pour laquelle la tension maxima H' satisfait à l'équation

$$H' = p + \frac{2S'}{\rho'},$$

où ρ' désigne le nouveau rayon de la bulle, et l'équilibre se rétablit.

Deux facteurs fixent les dimensions des bulles de vapeur :

1° *L'écart des températures T et T' .* — Plus cet écart sera grand, plus le liquide pourra emprunter de calories à lui-même, et plus les bulles seront grosses : c'est le cas de l'ébullition difficile et retardée.

2° La bulle, une fois formée, subit de la part du liquide une poussée de bas en haut, qui tend à la détacher de la surface de chauffe, à laquelle elle n'est retenue que par les forces capillaires. Selon la valeur de celles-ci, la bulle atteindra des dimensions plus ou moins considérables; mais cette influence est très variable, surtout avec les surfaces de chauffe non polies, et couvertes d'aspérités de formes variées. Elle doit être étudiée directement sur les surfaces employées comme surfaces de chauffe, et par l'expérience, qui est, sur ce point, le seul guide.

Les bulles, détachées de la surface de chauffe, prennent un mouvement ascensionnel; voyons comment elles peuvent se grouper.

Les différences de vitesse dues aux différences de volume, les changements de direction, les étranglements, les courants divers, amènent les bulles au contact les unes des autres. Deux cas peuvent alors se présenter.

Si la tension superficielle du liquide au contact de sa vapeur n'est pas suffisante, la membrane liquide qui se trouve entre les bulles en contact se déchire, et celles-ci se réunissent en une seule de grand diamètre. En amont d'un étranglement, qui ralentit nécessairement les bulles, elles peuvent toutes se grouper en une poche volumineuse, qui franchit l'obstacle d'un seul coup lorsque sa poussée est devenue suffisante. L'eau revient ensuite en sens inverse, et le passage de la vapeur se fait ainsi d'une façon intermittente.

Si, au contraire, la tension superficielle du liquide au contact de sa vapeur a une valeur élevée, les bulles s'accolent mais sans se confondre, et restent séparées par une membrane liquide de forme sphérique, telle que la très légère différence entre les pressions qui règnent dans les deux bulles, différence de pression due à leur différence de volume, soit égale à $\frac{4S}{r}$, r étant le rayon de courbure de la membrane. Toutes les bulles s'accumulent ainsi pour former une mousse très stable, qui peut ainsi former piston dans les étranglements, et se dégager par pulsations.

Mais, entre ces cas extrêmes, on trouve des conditions intermédiaires, où les bulles restent au contact sans se réunir ni s'accoler, et, suivant la proportion de vapeur et d'eau, il peut arriver que le mélange s'écoule avec continuité.

C'est le cas d'une eau *très légèrement* additionnée de savon; les petites bulles très nombreuses ne s'agglomèrent pas, et le mélange d'eau et de vapeur s'écoule comme un fluide homogène.

M. de Chasseloup-Laubat a signalé de telles différences d'écoulement pour un modèle de chaudière Thornycroft, qui fonctionnait pulsativement avec de l'eau pure, et d'une façon continue avec de l'eau saumâtre ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, avril 1897.

Considérons maintenant la bulle de vapeur, au moment où elle arrive à la surface libre du liquide. Elle soulève une pellicule liquide, qui se brise immédiatement si la tension superficielle du liquide en présence de sa vapeur n'a pas une valeur suffisante, et la vapeur se dégage en projetant autour d'elle une multitude de gouttelettes.

Mais si, au contraire, la tension superficielle a une valeur suffisante, en rapport avec le volume de la bulle, celle-ci ne crève pas, elle flotte sur la surface, en présentant approximativement la forme d'une demi-sphère reposant sur l'eau par son grand cercle. Il y a alors entre l'intérieur de la bulle et le réservoir de vapeur une différence de pression égale à $\frac{4S}{R}$, R étant le rayon de la bulle.

Les bulles suivantes s'accroissent d'abord à la première, de façon à garnir toute la surface, puis celles qui viennent ensuite soulèvent les autres sans les faire éclater, et il se forme une mousse, qui peut être très stable, et qui ne se détruirait à l'air que par évaporation des particules liquides:

Ce phénomène dépend de la tension superficielle à la surface libre du liquide dans la chaudière, par laquelle se fait le dégagement de vapeur. Cette tension peut être celle d'une couche très légère d'impuretés flottantes, par exemple, d'huile entraînée des machines, et non arrêtée après le condenseur par des filtres appropriés.

On conçoit la grande importance de ce fait dans l'étude des entraînements d'eau.

Ces faits étant établis, il est clair que, pour qu'un appareil de laboratoire permette de se faire une idée exacte des phénomènes, il faudra l'alimenter avec des eaux variées, et multiplier les expériences.

On changera les liquides essayés, de façon à utiliser toute une gamme de valeurs pour les tensions capillaires au contact des surfaces de chauffe.

On recherchera pour chacun d'eux la marche avec diverses surfaces chauffantes, et dans chaque essai on poussera plus ou moins l'allure de combustion.

Il suffit d'ailleurs d'opérer avec de l'eau additionnée de corps variés tels que : du savon ou de la glycérine, des sels minéraux (carbonate et chlorure de calcium, chlorure de sodium), des acides, des corps gras, des matières organiques, des corps la rendant visqueuse comme du sucre, des précipités tenus en suspension; on peut aussi essayer les diverses compositions désincrustantes.

Les surfaces vaporisatrices sont le plus souvent en verre; on agira sur elles, et l'on modifiera leur action en les nettoyant avec soin aux acides, ou en les recouvrant d'une mince couche de graisse, de térébenthine, d'huile de lin, d'oléonaphte, etc.

C'est pour varier davantage encore ces conditions qu'il a paru intéressant

d'avoir sur le modèle de *générateur Pluto*, dont nous donnons la photographie, des tubes métalliques; on se rapproche aussi de cette façon des conditions où l'ébullition se produit en pratique.

Seulement il ne suffirait pas d'observer ce qui se passe dans le tube au débouché de la lame d'eau, parce qu'à ce moment, l'abondance de la vapeur, et son changement de direction peuvent masquer les phénomènes. On peut bien observer le sens général de la circulation en remarquant l'entrée de l'eau dans le tube intérieur, mais on ne juge pas bien de la manière dont se fait l'ébullition, du volume et de la répartition des bulles.

C'est pour cela qu'on a ménagé des viroles en verre, à l'extrémité libre du tube vaporisateur, permettant de voir l'eau sortir du tube intérieur, et du côté de la lame d'eau, pour observer le sens de la circulation, sa vitesse, la proportion de vapeur, le nombre des bulles, leur grosseur moyenne, etc.

On peut faire ainsi une multitude d'expériences diverses; la comparaison des résultats, leur discussion permettent de fixer sur la circulation quelques indications générales, malgré l'aspect spécial que les phénomènes d'ébullition donnent à chaque essai particulier.

Des expériences.

Dans chaque essai l'attention doit porter sur les trois points suivants :

- I. Formation des bulles au contact des parois chauffées.**
- II. Sens, intensité relative et régularité de la circulation.**
- III. Dégagement de la vapeur.**

I. Formation des bulles au contact des parois chauffées. — Nous avons dit que la surface de chauffe intervient dans l'aspect des phénomènes par sa nature, et son état plus ou moins poli. Nous ne ferons pas intervenir la propreté, parce que, pour une tôle grasse par exemple, la surface de chauffe véritable est constituée, non par le métal, mais par la couche grasseuse si mince qu'elle soit.

Cette influence de la surface est considérable. Il suffit pour s'en convaincre de se rappeler quelques faits bien connus.

L'eau ne bout pas à la même température dans un vase de cuivre et dans un vase de verre, toutes les autres conditions restant les mêmes.

L'ébullition d'un liquide visqueux comme l'acide sulfurique est très difficile dans le verre; il suffit d'ajouter un fragment de métal pour la régulariser.

La présence d'une couche grasse sur une surface de chauffe entraîne avec un feu vif un coup de feu; on ne peut attribuer ce fait au défaut de conductibilité de la couche de graisse, parce que l'épaisseur nécessaire est extrêmement faible; la seule cause est la modification de l'équilibre capillaire.

En variant les données de chaque expérience, on observe dans les modèles de laboratoire les divers modes d'ébullition et les diverses formes de bulles

de vapeur : par exemple, on observe les bulles sphériques dans les tubes de verre, avec de l'eau pure ou légèrement additionnée de savon ou de glycérine, et d'une façon générale, chaque fois que le liquide mouille bien la surface de chauffe; on observe les poches plates chaque fois que le liquide ne mouille pas.

Les essais permettent même de constater que l'ébullition de l'eau pure sous la pression atmosphérique se fait par bulles sphériques au contact du métal propre, bulles plus petites, plus nombreuses et mieux réparties sur toute la surface chauffée que dans le verre.

Mais l'on dépasserait la portée des expériences, si l'on affirmait que, dans un générateur véritable, l'eau bout par petites bulles sphériques sur les surfaces métalliques propres ou recouvertes d'un léger dépôt salin, et par poches aplaties sur les surfaces métalliques graissées. Sans doute, au voisinage de 100° il paraît en être ainsi. Mais les forces capillaires varient très vite avec la température, la tension capillaire de l'eau au contact de sa vapeur diminue rapidement, et nous ignorons les variations exactes.

La question est de première importance pour l'activité de la vaporisation, l'absorption de la chaleur, le rafraîchissement des surfaces de chauffe, et surtout, comme nous le verrons, au point de vue de la circulation, mais les expériences en question ne peuvent permettre aucune conclusion à ce sujet.

L'étude du mode d'ébullition dans les conditions de la pratique reste à faire, et elle doit être faite avec des appareils spéciaux, capables de supporter des pressions de 15^{ks} à 18^{ks} par centimètre carré, et dont la forme peut être quelconque, et tout à fait éloignée de celle des éléments employés dans la construction des chaudières; l'essentiel est que les conditions de l'équilibre capillaire au contact de la surface de chauffe soient les mêmes que dans le générateur industriel.

Il ne faut retenir des expériences présentes que ce fait, que la nature de la surface a une influence capitale sur la forme, et surtout sur les dimensions des bulles de vapeur.

II. Sens, intensité relative et régularité de la circulation. — Ces dimensions de bulles sont, en effet, très importantes au point de vue de la circulation.

La bulle de vapeur peut déplacer l'eau de deux façons.

D'abord par suite de son *mouvement*, lorsqu'elle est complètement détachée de la paroi, et qu'elle s'élève sous l'action de la poussée. C'est le cas que nous avons supposé implicitement au début de cette note. L'action dépend du volume de vapeur, mais nous verrons qu'à volume égal de vapeur, l'expérience montre que les petites bulles nombreuses donnent un courant plus rapide que les grosses poches de vapeur, et surtout un courant plus régulier, par filets parallèles, tout à fait exempt de tourbillons locaux. Ceci s'explique

par la plus grande résistance qu'éprouve l'eau à circuler au milieu de petites bulles qu'à contourner une grosse poche. Cette résistance dépend, en effet, du contour apparent des bulles, projetées sur un plan normal à la direction du courant, et ce contour apparent a une surface totale plus faible pour une seule bulle que pour plusieurs, le volume total de vapeur restant le même dans les deux cas.

En second lieu, si l'on considère une bulle en formation, dont le volume est très rapidement croissant, et qui est encore rattachée à la paroi, elle déplace le liquide par son *expansion*, et elle ne le chasse plus dans une direction déterminée, mais dans tous les sens, en proportion inverse des résistances qui s'opposent au passage du liquide.

On voit encore l'avantage des petites bulles : si une poche de vapeur se forme brusquement dans un courant bien établi, elle arrête la circulation, qui ne reprend que lorsque la poche est détachée de la surface, et tend à se dégager; elle donne alors au courant une grande vitesse. Si, au contraire, ce sont de petites bulles qui se sont formées, d'un volume total égal à celui de la poche précédente, le phénomène a été continu, l'expansion s'est faite régulièrement et dans un temps plus considérable, la circulation n'a pas subi d'arrêt brusque, sa vitesse est restée constante, et plus grande que la vitesse moyenne du premier cas, où les chocs et les remous absorbent à chaque instant la force vive précédemment acquise.

Tous ces faits se vérifient dans les modèles en verre. Pour le modèle du *générateur Pluto* en particulier, on trouve que, suivant les diverses conditions de l'expérience, le fonctionnement se rapproche plus ou moins de l'un des trois cas suivants.

Premier cas. — Les bulles sont énormes, se forment brusquement et garnissent toute la section du tube. (Ex. : eau acidulée bouillant dans des tubes de verre parfaitement décapés aux acides).

La vapeur chasse l'eau devant elle comme un piston. La circulation est énergique, mais sa vitesse n'est pas constante; elle diminue pendant la formation des bulles, et augmente pendant leur dégagement. Le dégagement est nécessairement périodique comme la formation des bulles, qui apparaissent à de longs intervalles, et sont instantanément très volumineuses.

Les impuretés en suspension dans l'eau se déposent en grande partie dans la culasse pendant la diminution de la vitesse, ou en amont des points chauffés, si la chauffe n'est pas continue sur toute la longueur du tube. Les tubes de verre cassent facilement.

Deuxième cas. — Les bulles sont peu nombreuses, et de grand volume, mais elles n'arrivent pas à tenir toute la section du tube, et à former piston (Ex. : eau pure, distillée mais aérée, dans des tubes de verre propres, mais non décapés aux acides).

La vapeur chemine le long de la génératrice supérieure du tube, où sa proportion dans le mélange eau-vapeur est beaucoup plus considérable que dans

les autres parties. La circulation est bonne et régulière. Si l'on pousse beaucoup la chauffe, et si l'on obtient en partie le dégagement de la vapeur, les bulles se groupent avant l'étranglement, et le franchissent par pulsations.

Les impuretés en suspension se déposent en partie à l'extrémité libre des tubes, et en partie au fond de la lame d'eau. Rien ne se dépose sur les surfaces vaporisatrices.

L'ébullition est bien meilleure dans le tube métallique, bien que ce soit le plus fortement chauffé.

Troisième cas. — Les bulles sont extrêmement nombreuses et petites (Ex. : eau additionnée de 0,01 pour 100 de savon, bouillant dans les tubes de verre ou dans les tubes métalliques).

Les bulles cheminent côte à côte sans se réunir; l'aspect du tube est uniforme, comme s'il était rempli d'un fluide homogène; la proportion d'eau et de vapeur dans le mélange paraît la même partout. La circulation est tout à fait régulière et très vive.

Les impuretés ne se déposent plus dans le tube, et sont entraînées plusieurs fois dans le circuit, avant de tomber au fond de la lame d'eau. Ces conditions sont de beaucoup celles qui donnent la meilleure circulation.

On ne constate jamais :

1° L'absence de toute circulation, dès qu'il y a production de la moindre quantité de vapeur;

2° Le renversement de la circulation, tant que le niveau reste bon et la position normale. La première restriction se rapporte au cas où le niveau descendrait très au-dessous de l'arrêt de la cloison, qui divise la lame d'eau en deux compartiments. Il se produit entre eux une dénivellation, qui augmente puis garde une valeur fixe; l'élément le moins chauffé sert alors de retour d'eau; il est clair qu'il ne peut en être autrement, le cycle de chaque élément considéré isolément avec la lame d'eau étant devenu *irréversible*. D'autre part, lorsque les tubes reçoivent une contre-inclinaison, ils s'emplissent de vapeur, et la circulation s'arrête; mais elle reprend dans le sens normal et sans retard, dès que les tubes repassent par l'horizontale, en revenant à leur position primitive.

Toutes ces conclusions, déduites des expériences, peuvent être généralisées, et appliquées au générateur réel, en ce qui concerne, *pour chaque mode d'ébullition*, la régularité et le sens des courants de circulation.

Pour apprécier la grandeur de leur vitesse, il faudrait pouvoir déterminer les circonstances qui se correspondent.

S'il n'y avait à tenir compte que de la différence de pression, nous avons vu qu'il serait facile de calculer les allures de vaporisation correspondantes.

Mais les phénomènes d'ébullition rendent ce calcul illusoire. La différence des pressions de fonctionnement donne, entre le générateur et son modèle, une différence de températures, qui modifie le mode d'ébullition, et l'on ne

sait pas quel est ce mode dans les générateurs industriels, même dans des conditions particulières données.

On peut seulement se faire une idée exacte des phénomènes, et définir des fonctionnements types, entre lesquels le fonctionnement des chaudières réelles est intermédiaire.

On définit le mode d'ébullition le meilleur au point de vue de la circulation : il correspond au cas où le liquide bout par petites bulles très nombreuses, qui ne se réunissent pas en poches de vapeur. Ce mode donne la circulation naturelle la plus rapide et la plus régulière, pour une intensité de chauffe donnée.

La comparaison des conditions de la circulation dans les divers types de générateurs est enfin un résultat que l'on peut obtenir au moyen des expériences sur modèles en verre. Les constatations faites sur des modèles de même échelle, fonctionnant dans les mêmes conditions, avec la même eau, à la même intensité de chauffe, donnent une comparaison exacte, en pratique, pour les générateurs fonctionnant dans des conditions correspondantes.

De même on étudiera avec fruit les dispositions d'un type nouveau, d'un appareil à construire, en réalisant au préalable sur un modèle les diverses dispositions de détail susceptibles d'être exécutées.

III. Dégagement de la vapeur. — Il nous reste à étudier sur le modèle le dégagement de la vapeur. Nous avons dit que la vapeur pouvait : soit se dégager bulle par bulle, soit former à la surface libre une sorte de mousse à mailles plus ou moins grandes. Voici les types caractéristiques entre lesquels les autres sont intermédiaires.

1° *Eau distillée.* — Les bulles crèvent en arrivant à la surface, et projettent autour d'elles des gouttelettes liquides à une distance qui dépend de leur volume.

2° *Eau renfermant des traces d'amidon délayé à froid.* — Les bulles ne crèvent pas, elles flottent à la surface, entourées par une membrane liquide, mais elles ne s'agglomèrent pas non plus; elles s'accolent et forment une mousse, dont l'épaisseur croît jusqu'à 1^{cm} ou 2^{cm}, puis reste fixe.

3° *Eau savonneuse* (0,1 pour 100 de savon environ). — Les bulles flottent à la surface, limitée par une membrane liquide, et se groupent pour former la mousse bien connue, que l'on obtient en soufflant de l'air avec un chalumeau sous de l'eau de savon. Cette mousse, très stable, envahit tout l'appareil, et est entraînée dans les conduites de dégagement.

On voit apparaître deux modes de production des entraînements d'eau, suivant qu'avec les eaux d'alimentation employées, le dégagement de la vapeur se rapproche du premier ou du troisième type. Il est facile de se défendre contre les premiers, où l'eau se trouve projetée à l'état de gouttelettes dans la vapeur, en l'arrêtant par une disposition convenable de la

chaudière, et, au besoin, au moyen de chicanes, de tôles de protection des prises de vapeur, etc.

Au contraire, il est difficile de lutter contre ceux qui sont dus à la nature des eaux, et n'ont d'autre remède que l'abaissement de l'intensité de chauffe, ou la purification des eaux d'alimentation.

De telles eaux sont dites *entraînantes*; elles peuvent être reconnues au laboratoire, avec un peu d'habileté, au moyen d'un modèle en verre, qui apparaît ainsi comme un appareil d'essai des eaux d'alimentation; en particulier, il est intéressant d'étudier, à ce point de vue, les diverses compositions recommandées comme désincrustantes.

Conclusions.

Les expériences, même conduites avec toutes les précautions voulues, n'autorisent pas à affirmer que les phénomènes se passent d'une façon déterminée dans un générateur véritable. Elles ne donnent pas la solution générale du problème, mais elles permettent de le décomposer, et de résoudre la première partie.

Elles montrent que l'influence du mode d'ébullition sur la circulation de l'eau est prépondérante, et elles font ressortir quel est le mode le meilleur, celui qui donne pour chaque allure de vaporisation la circulation la plus rapide, et en même temps la plus régulière, dans un appareil de type donné.

Elles permettent de comparer les différents types entre eux.

Il reste à déterminer par l'expérience quel est, dans chaque cas particulier, le mode d'ébullition des diverses eaux employées, sur les surfaces de chauffe propres, graisseuses ou entartrées, et à toutes les températures, jusqu'aux plus élevées que peuvent atteindre les tôles de chaudières, au moment où elles se déforment sous l'action de la pression intérieure.

De pareilles recherches, quoique délicates, surtout aux températures très élevées, ne paraissent pas impossibles à réaliser. Elles auraient peut-être pour conséquence d'indiquer le moyen d'obtenir, dans les chaudières employées en pratique, le meilleur mode d'ébullition. On saurait ainsi produire dans les conditions les plus parfaites la circulation de l'eau sur les surfaces vaporisatrices, si recherchée pour amener la présence du liquide sur les tôles chauffées, et pour entraîner les bulles de vapeur dès leur formation.

Mais une ébullition régulière paraît avoir d'autres avantages, très importants et plus directs.

Il faut remarquer, en effet, que la circulation ne suffit pas pour empêcher une trop grande élévation de la température du métal; on obtient bien, et assez facilement, une circulation suffisante pour que les tôles soient toujours recouvertes d'eau; mais la présence de l'eau sur les surfaces chauffées ne met pas à l'abri du coup de feu : il faut que l'eau mouille ces surfaces.

D'ailleurs, si le liquide ne les mouille pas, si l'ébullition se fait par poches plates, et non par bulles sphériques, il n'y a pas de vitesse de circulation, pratiquement réalisable, capable de détacher ces poches de la surface de chauffe, et de forcer le liquide à venir au contact de cette surface, et à absorber par sa vaporisation les calories qui s'y accumulent. La différence de température entre le liquide et la tôle dépend de la facilité de l'ébullition.

De toute façon, il importe que le liquide mouille la surface vaporisatrice, ou plus exactement il faut que l'équilibre capillaire soit tel au contact de cette surface, que l'ébullition soit facile et régulière.

Or il se peut que cette condition ne soit pas remplie dans tous les cas du fonctionnement pratique des chaudières. Si l'expérience confirmait cette hypothèse, il faudrait arriver à ce que les tôles soient toujours parfaitement mouillées, et ce résultat pourrait peut-être s'obtenir par l'addition à l'eau de substances solubles convenables, qui devraient répondre au programme suivant :

a. Leur dissolution mouillerait parfaitement les surfaces de chauffe, au moins les surfaces métalliques propres, jusqu'aux plus hautes températures que peuvent atteindre ces surfaces en fonctionnement, même celles où elles commencent à perdre de leur résistance;

b. Elles n'attaqueraient pas le métal des surfaces, même à température élevée;

c. Elles ne causeraient pas d'entraînement d'eau;

d. Elles ne seraient cause d'aucun désordre, si elles étaient entraînées par hasard en petite quantité dans les machines.

Ces conditions, même les conditions a et c, ne sont pas contradictoires *a priori*; cependant il n'est pas certain que de telles substances existent. Quoi qu'il en soit, que le résultat cherché soit obtenu par ce moyen ou par un autre, on voit qu'il présente un double intérêt, puisque le problème de la circulation naturelle, et celui de la transmission facile des calories sont identiques au fond, ainsi qu'il résulte clairement des expériences sur modèles en verre.

NOTE

SUR

LA DÉTERMINATION DES DIMENSIONS PRINCIPALES DES TURBINES MARINES.

[Suite d'une Note SUR L'ÉCOULEMENT DES GAZ ET DES VAPEURS SATURÉES (1)],

PAR M. J. DANIS,
Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique.

I. — Considérations générales.

Les dimensions mécaniques des turbines marines sont intimement liées à celles des hélices qu'elles actionnent.

Parmi ces dimensions mécaniques se trouvent les vitesses linéaires.

Le poids d'une turbine croît à peu près comme l'inverse du carré des vitesses choisies.

Le rendement d'une hélice décroît à partir d'une certaine limite, dépassée dans l'application qui nous occupe, avec la vitesse linéaire.

On se trouve donc avoir à accoupler deux organes, qui requièrent, l'un pour être léger, l'autre pour avoir un bon rendement, des conditions de fonctionnement contradictoires.

A l'heure actuelle, on est arrivé à donner aux turbines des vitesses linéaires telles, que ces turbines pèsent autant que la machine à piston qu'elles remplacent. Leur encombrement est équivalent. Les vitesses choisies sont donc des minima absolus, au-dessous desquels il ne faut pas descendre, si l'on ne veut pas avoir remplacé un organe relativement léger et compact, par un organe plus lourd et plus volumineux. Comme au point de vue hélice on doit chercher à réduire cette vitesse autant que possible, la pratique per-

(1) Voir *Bulletin de l'Association Technique Maritime*, 1904, p. 25.

mettra de déterminer des chiffres, que l'on devra considérer comme constants d'une application à l'autre.

La vitesse linéaire particulière, que nous considérons comme une donnée dans la construction des turbines, est la vitesse circonférencielle du tambour de charge élément; nous la désignerons par u . Elle est aux environs de 30^m par seconde pour les turbines H. P., et de 45^m par seconde pour les turbines B. P.

Du côté des hélices, on a reconnu que, pour éviter sûrement la cavitation, et avoir un bon rendement, il y avait lieu de ne pas dépasser 45^m pour la vitesse circonférencielle du bout des ailes. Ces chiffres, comme ceux que nous avons précédemment cités, et ceux que nous pourrions citer dans la suite, ne sont pas encore bien déterminés, mais les grandeurs qu'ils mesurent doivent être constantes d'un navire à l'autre. Ils doivent en effet représenter les concessions limites, que peuvent se faire une turbine et une hélice accouplées. La pratique apprendra à les déterminer avec plus de précision, puisque les nécessités de fonctionnement des deux organes sont opposées les unes aux autres.

En outre de la vitesse circonférencielle limite du bout des ailes, il y a deux autres limites qu'il ne faut pas dépasser, pour qu'une hélice fonctionne dans des conditions satisfaisantes. La poussée axiale effective par centimètre carré de surface projetée des ailes ne doit pas dépasser un certain chiffre : 750^s par exemple, que nous ne citerons que pour fixer les idées. D'autre part, comme le rapport de la surface totale projetée des ailes à la surface du disque poussant, rapport f , ne peut pas dépasser $0,55$ environ, si l'on ne veut pas qu'il y ait recouvrement d'une aile par rapport à l'autre, c'est-à-dire que l'une des ailes travaille dans le sillage de la précédente, on est amené à limiter aussi la poussée par centimètre carré du disque poussant, cette dernière grandeur représentant l'utilisation générale des hélices; simplement pour fixer les idées, nous dirons qu'elle est égale à 400^s . Son rapport à la poussée par centimètre carré de surface projetée doit reproduire la fraction f , que nous avons définie plus haut.

Les trois grandeurs : 1° vitesse circonférencielle du bout des ailes; 2° poussée par centimètre carré de surface projetée; 3° poussée par centimètre du disque poussant, définissent bien les conditions de fonctionnement d'une hélice.

Dans tout ce qui va suivre, et pour adopter une méthode de comparaison simple, nous supposerons toujours que la vitesse circonférencielle u_1 du bout des ailes est une constante maximum pratique, de même que l'utilisation du disque poussant a été faite aussi complète que possible, et a été prise à son maximum p .

C'est en effet dans ces conditions que nous pourrions construire des turbines, dont le poids et l'encombrement ne dépassent pas les données analogues des machines à piston, à rendement total équivalent.

La première question, que nous allons examiner, est celle de savoir dans quelles conditions de rendement sont utilisées les turbines sur des navires analogues, ayant tous la même vitesse, mais des dimensions différentes.

Nous allons supposer que chacun de ces navires est défini par une dimension linéaire L , qui sera soit une des dimensions principales, soit la racine carrée du maître couple, soit la racine cubique du déplacement, selon le choix que l'on devra faire dans chaque cas particulier, pour rendre les comparaisons plus précises.

En passant d'un navire à l'autre, comme la vitesse est la même, nous admettons que la poussée totale des hélices P est proportionnelle à L^2 , puisque la vitesse est constante, et nous écrivons, en supprimant systématiquement les constantes,

$$P = L^2,$$

que nous appelons une *équation de dimensions*, bien que le terme ne soit pas correct, puisqu'il faudrait y faire figurer des grandeurs que nous venons de supprimer par suite de leur constance. Ce n'est qu'une équation de dimension relativement au problème spécial où nous nous sommes placés.

Cette poussée totale des hélices doit être telle que, si nous appelons D le diamètre d'une des hélices utilisée de la même façon d'un navire à l'autre, on ait

$$P = D^2.$$

Nous avons vu que la poussée par centimètre carré du disque était la grandeur définissant le mieux les conditions d'utilisation pour des hélices très chargées.

De ces deux équations nous déduisons

$$D = L.$$

Dans tous ces navires, le diamètre du disque croît donc comme la dimension linéaire.

Comme nous tenons à conserver la vitesse périphérique limite en passant d'un navire à l'autre, nous sommes amenés à avoir un nombre de tours N variant à l'inverse du diamètre D , ou, ce qui revient au même, de la dimension linéaire, et nous aurons

$$N = \frac{1}{L}.$$

Le pas de l'hélice H est tel, que dans les mêmes conditions de fonctionnement la vitesse du navire soit une constante. Dans ces mêmes conditions de fonctionnement, le recul est invariable. NH est alors proportionnel à la vitesse constante, ce qui nous conduit à

$$NH = 1.$$

D'où nous déduisons

$$H = L.$$

Dans tous ces navires, le pas et le diamètre des propulseurs varient donc comme L . Le rapport du pas au diamètre est invariable, ce qui justifie l'hypothèse que nous avons faite des mêmes conditions de fonctionnement pour le propulseur des différents navires.

Du côté des turbines, pour conserver la vitesse périphérique u , que nous avons admise comme une des constantes fondamentales, il faudra que, si nous appelons R le rayon du tambour de la turbine (pour les turbines marines le tambour d'un élément n'a qu'un seul rayon, les échelons étant produits par les hauteurs d'aubes), nous ayons

$$R = L$$

puisque

$$N = \frac{1}{L}.$$

Le débit total de vapeur par seconde C , grandeur qui remplace pour les turbines la puissance indiquée, et qui entre au même titre, comme nous le verrons plus loin, dans les formules d'utilisation générale, doit, pour une même vitesse, varier comme L^2 , et l'on doit avoir

$$C = L^2.$$

Si l'on appelle e la hauteur des aubes au premier échelon, et que l'on veuille que la vitesse du courant de vapeur dans l'espace annulaire compris entre le tambour et l'enveloppe ait, parallèlement à l'axe de la turbine, une vitesse moyenne w , que nous prendrons au même titre que u comme constante fondamentale, nous devons avoir

$$Re = C = L^2.$$

Comme R varie comme L , il s'ensuit que e varie aussi comme L .

Dans les turbines des navires que nous considérons, le rapport de la hauteur des aubes au rayon du tambour ne variera pas, les jeux aux extrémités des aubes pourront être proportionnés aux hauteurs d'aubes, les suites relatives seront les mêmes, et les turbines faites mécaniquement semblables, sur la base des vitesses linéaires constantes. On peut donc dire qu'elles auront toutes le même rendement.

Nous avons établi que les propulseurs se trouvaient aussi dans les mêmes conditions d'utilisation. Nous pouvons conclure que, pour des navires de même vitesse, mais de taille différente, l'application des turbines à vapeur se fera dans les mêmes conditions d'utilisation générale.

Ce qui peut encore s'exprimer en disant que *l'économie de l'application n'est fonction que de la vitesse absolue du navire.*

Si nous voulons maintenant nous rendre compte de la variation de cette économie avec la vitesse, nous n'aurons besoin que de considérer un seul navire marchant à des allures différentes.

Nous allons donc considérer un seul navire, dans lequel nous mettrons pour chaque vitesse les ensembles de turbines et hélices les mieux appropriées, c'est-à-dire celles qui fonctionnent avec les vitesses limites et les utilisations limites des disques poussants.

Ce n'est donc pas un même navire avec les mêmes appareils, mais un même navire avec des appareils différents.

Appelons V la vitesse du navire.

La poussée totale P est donnée par l'équation de dimension suivante :

$$P = V^2.$$

Nous supposons que nous conservons le même nombre de lignes d'arbres pour chaque vitesse, trois par exemple, ce qui est toujours le cas de la pratique, à l'exception des très grandes puissances, et que le travail soit également réparti sur chaque ligne d'arbres.

Dans ces conditions, si l'on appelle D le diamètre d'un des propulseurs, et que l'on suppose que l'utilisation du disque soit la même en passant d'un cas à l'autre, on devra avoir

$$P = D^2,$$

qui, rapproché de l'équation précédente, donnera

$$D = V.$$

Le diamètre du disque croîtra donc avec la vitesse. Le nombre de tours doit être pris tel, que la vitesse circonférencielle du bout des ailes atteigne la vitesse limite constante que nous nous sommes imposée; on devra donc avoir

$$N = \frac{1}{D} = \frac{1}{V}.$$

Si nous supposons que le recul reste le même, ce qui est probable, puisque la charge du disque n'a pas varié, nous devons avoir un pas H tel que

$$NH = V$$

ou

$$H = V^2.$$

Et le rapport du pas au diamètre sera tel que

$$\frac{H}{D} = V.$$

Comme, dans tous les navires à turbines que l'on a construits jusqu'ici, le

rapport du pas au diamètre est trop faible, on peut conclure que, plus la vitesse diminue, plus ce rapport descendra au-dessous des limites de bon rendement, et plus ce rendement lui-même diminuera; qu'il faudra atteindre des vitesses encore inusitées pour retrouver, dans les hélices des turbines, les proportions auxquelles on est habitué pour les hélices des machines à pistons.

Du côté des turbines, en gardant toujours les mêmes vitesses de base u et ω , nous devons avoir pour le rayon des tambours R

$$NR = 1,$$

soit

$$R = V.$$

D'autre part le débit total de vapeur C variant comme une puissance est tel que

$$C = V^3.$$

La hauteur des aubes e doit être telle que l'espace annulaire compris entre le tambour et l'enveloppe laisse écouler la vapeur avec une vitesse de courant parallèle à l'axe ω , la même pour toutes les turbines; nous aurons donc

$$Re = C = V^3.$$

D'après la variation de R , nous trouvons pour e

$$e = V^2$$

et

$$\frac{e}{R} = V.$$

La hauteur relative des aubes, par rapport au rayon du tambour, diminue avec la vitesse. Comme le jeu à l'extrémité des aubes ne dépend que du rayon, la fuite de vapeur augmente à peu près à l'inverse de la vitesse. Cette fuite, qui vient aussi troubler les veines de vapeur, augmente toutes les causes de perturbation. Le rendement d'une turbine marine doit tomber rapidement avec la vitesse du navire. Dans certaines applications, on était arrivé à des hauteurs d'aubes telles, pour les premiers échelons, que l'on a jugé qu'il était plus économique de supprimer complètement ces échelons, en faisant passer la vapeur dans un détendeur réduisant la pression, et augmentant son volume, au point qu'elle puisse être utilisée dans des aubes de proportions convenables.

Nous avons vu que le rendement des hélices doit aussi diminuer avec la vitesse; aussi ne semble-t-il pas à l'heure actuelle, que l'on puisse tenter avec des chances de plein succès l'application des turbines à la propulsion de navires de moins de 20 nœuds. Mais il peut se faire que des perfectionnements arrivent à abaisser cette limite, notamment l'emploi de la surchauffe,

qui pour une même pression augmente le volume de la vapeur proportionnellement à la température absolue, et qui permettrait d'employer des aubes relativement plus hautes. Il peut se faire aussi que les idées changent, et que l'on admette qu'il soit rationnel de faire des turbines d'un poids plus élevé ou plus encombrantes que les machines à pistons qu'elles remplacent, ce qui revient à réduire encore les vitesses linéaires u et w . Il est certain que l'on a déjà fait beaucoup de chemin dans ce sens, et l'inventeur, qui, au début de l'application des turbines, serait venu proposer de remplacer les machines à pistons par des appareils aussi lourds et aussi encombrants, aurait eu peu de chances de faire adopter son invention. Et pourtant cette égalité de poids et d'encombrement est admise aujourd'hui.

II. — Dimensions absolues.

La grandeur fondamentale, qui sert de base à la détermination des dimensions absolues des turbines, est leur débit total en poids ou consommation de vapeur par unité de temps C .

Cette grandeur, susceptible de relevés directs, joue le rôle de la puissance indiquée des machines à pistons.

Les formules d'utilisation en fonction de la puissance indiquée

$$V = m_1 \sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}, \quad V = m_2 \sqrt[3]{\frac{F}{D^3}}, \quad V = m_3 \sqrt[3]{\frac{L.F}{D}},$$

où D est le déplacement, et L la longueur du navire, doivent être remplacées par les suivantes :

$$V = \mu_1 \sqrt[3]{\frac{C}{B^2}}, \quad V = \mu_2 \sqrt[3]{\frac{C}{D^3}}, \quad V = \mu_3 \sqrt[3]{\frac{LC}{D}},$$

où C est la consommation en kilogrammes par seconde des turbines principales, μ_1, μ_2, μ_3 de nouveaux coefficients d'utilisation générale, que l'on aura soin de relever, et qui joueront le rôle des m_1, m_2, m_3 . On pourra, comme pour ces derniers, faire des abaques spéciales ou des règles à calculs, comme celles dont se servent les Anglais.

En commençant un projet, on pourra, suivant les circonstances où l'on se trouve, et d'après les précédents qui sembleront se rapprocher le plus, choisir une valeur pour μ_1, μ_2 ou μ_3 , et en déduire immédiatement la consommation de vapeur des turbines projetées.

Si nous connaissons les proportions de ces turbines, ce que nous chercherons tout à l'heure, un seul élément, la hauteur des aubes du premier échelon par exemple, nous fera connaître tous les autres. Cette hauteur d'aubes doit être telle, que le courant de vapeur passe dans l'espace annulaire avec une

vitesse donnée *a priori*; nous voyons donc comment on pourra la déterminer. Nous préciserons ultérieurement ce point.

Pour les hélices, au lieu de prendre la poussée totale axiale, grandeur qu'aucun appareil pratique n'a permis jusqu'ici de relever, nous considérerons les quotients

$$\frac{C}{\bar{V}} \quad \text{ou} \quad \frac{C}{NH}, \quad \begin{array}{l} N = \text{nombre de tours,} \\ H \text{ est le pas,} \end{array}$$

qui joueront le même rôle que les quotients analogues appelés *poussées totales* dans le cas d'une machine à pistons.

Après avoir déterminé le débit C pour une vitesse donnée et un bateau donné, nous considérerons immédiatement le coefficient

$$\frac{C}{\bar{V}},$$

que nous appelons par extension poussée; nous déterminerons de suite le diamètre des hélices, de façon que cette poussée par centimètre carré du disque ne dépasse pas une valeur *choisie a priori*, et que seule la pratique peut donner. Ceci nous déterminera le diamètre des hélices.

Le nombre de tours s'en déduira immédiatement, par la condition que la vitesse périphérique des ailes ait également une valeur *choisie a priori*, également donnée par la pratique.

Les autres éléments de l'hélice se déduisent facilement de ces deux premiers, si l'on ne cherche pas à résoudre un problème théorique, mais à reproduire des conditions de bon fonctionnement constatées antérieurement.

Nous aborderons donc la détermination des proportions des turbines, en connaissant le débit total de vapeur qu'elles absorbent, et le nombre de tours qu'elles doivent faire.

III. — Proportions.

Le problème de la détermination des proportions d'une turbine marine a été très simplifié du fait de l'adoption d'un type défini. Comme le choix de ce type est arbitraire, on pourrait en quelque sorte simplifier le problème dans la mesure que l'on désire, en choisissant *a priori* un certain nombre des dimensions principales.

C'est ce qui a été fait jusqu'à un certain point, mais en laissant encore suffisamment d'éléments à déterminer, pour réaliser dans chaque cas particulier une turbine économique. *Le problème n'est donc pas de réaliser la turbine la plus parfaite qu'il soit possible d'imaginer, pour une application définie, mais de proportionner une turbine d'un type défini, de façon à lui faire donner son maximum d'économie.*

Nous n'avons en vue ici que les turbines marines les plus récentes du type

action et réaction, où les aubes sont placées sur un tambour et sur l'enveloppe extérieure, et plus particulièrement celles où la puissance a été répartie sur trois arbres, celui du centre pour l'élément haute pression, les autres latéraux pour les éléments basse pression et marche arrière.

Voici quelles sont les caractéristiques de ce type de turbine :

1° Les tambours qui portent les aubes mobiles sont complètement cylindriques pour un même élément, il n'y a pas de réduction de diamètre vers l'extrémité avant. Si l'on avait admis une réduction à l'entrée susceptible de diminuer sensiblement la fuite relative, cette réduction aurait dû être assez importante, et comme le nombre des aubages croît proportionnellement à l'inverse du carré de la vitesse circonférencielle, on aurait été amené à un surcroît de poids sortant des limites permises. L'augmentation annulaire se fait par la hauteur des aubes.

2° Toutes les aubes, aussi bien mobiles que fixes, ont la même section droite, elles peuvent être coupées dans une même barre profilée, laminée. Une de leurs extrémités est aplatie, taillée en queue d'aronde, enfoncée dans un bloc cintré servant à plusieurs ailettes, lequel est lui-même calfaté au cuivre dans une rainure pratiquée soit dans le tambour mobile, soit dans l'enveloppe.

3° Sur un même tambour, les différents aubages sont répartis en échelons d'aubes ayant toutes la même hauteur. Le nombre des aubages par échelon est le même pour chaque élément. Sur un élément H. P. les échelons contiendront chacun par exemple 16 aubages mobiles imbriqués dans 16 aubages fixes, ce nombre 16 étant la caractéristique du type. Sur les éléments basse pression le nombre des aubages mobiles est réduit à 8 par échelon, imbriqués dans 8 fixes. Cette réduction est justifiée par le fait que la variation de température dans un aubage, et, par suite, le travail recueilli dans cet aubage varient, nous l'avons vu l'année dernière, à l'inverse du carré de la densité de la vapeur.

A la sortie des turbines basse pression, la hauteur des aubes à laquelle on arriverait logiquement est souvent telle, que leur bonne tenue serait compromise. On fait alors au détriment de l'économie les deux ou trois derniers échelons de la même hauteur.

En dehors de ces caractéristiques géométriques, le type est encore défini par les caractéristiques mécaniques suivantes :

1° La vitesse circonférencielle du tambour mobile à la naissance des aubes, vitesse de 30^m par seconde par exemple, pour l'élément haute pression, de 45^m par seconde pour les éléments basse pression, vitesse que nous désignerons par u , et que nous confondrons, par suite du peu de hauteur relative des aubes, avec la vitesse à mi-hauteur de ces aubes.

2° La vitesse moyenne du courant de vapeur parallèlement à l'axe, dans l'espace annulaire compris entre le tambour et l'enveloppe. Elle est définie de la façon suivante : on part de la moyenne arithmétique des deux poids

spécifiques relevés en amont et en aval d'un échelon; soit δ_m ce poids spécifique moyen. Si R est le rayon du tambour, e la hauteur des aubes de l'échelon, C le débit de vapeur connu, la vitesse ω est définie par

$$2\pi\omega R e \delta_m = C.$$

3° Cette vitesse moyenne de courant parallèle à l'axe, voisine aussi de 30^m à 45^m, sera la même pour tous les échelons d'un même élément.

Ce type ainsi défini, il nous reste à déterminer :

- 1° Les rayons des tambours mobiles;
- 2° La section droite des aubes;
- 3° Le nombre des échelons sur un même tambour;
- 4° La hauteur des différents échelons.

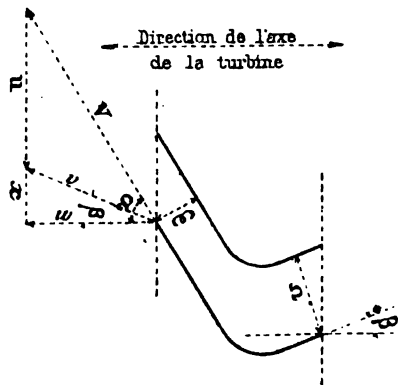
1° *Rayons des tambours mobiles.* — L'hélice nous a imposé un nombre de tours N ; nous voulons réaliser une vitesse circonférentielle u , nous devons avoir

$$2\pi RN = u,$$

équation qui nous donne immédiatement R . Si les hélices sont calculées comme elles doivent l'être, R a une valeur admissible. Une trop grande valeur de R indiquerait que les hélices ne sont pas assez chargées; une valeur petite de R indiquerait qu'elles le sont trop, ou que u est trop petit.

2° *Section droite des aubes.* — Nous allons nous proposer de déterminer la forme de la ligne médiane de la section droite, et plus particulièrement les deux angles α et β , que font avec la direction de l'axe de la turbine les tangentes à la sortie et à l'entrée.

Fig. 1.



Les aubages mobiles sont identiques aux aubages fixes comme section droite, mais les uns sont tournés à droite, les autres à gauche ou réciproquement, de sorte que la vapeur sort d'un aubage fixe pour entrer dans un

aubage mobile, comme elle sort d'un aubage mobile pour entrer dans un aubage fixe. Les mouvements relatifs sont aussi identiques, et le triangle des vitesses que l'on peut construire en amont d'un aubage se reproduit en aval. Ce triangle se déforme cependant du fait de la variation de la densité de la vapeur, mais cette variation, faible pour un échelon, est tout à fait négligeable, comme nous l'avons vu, l'année dernière, pour un aubage. On peut considérer que *la vapeur traverse un aubage comme le ferait un fluide incompressible.*

Il s'ensuit que les vitesses V et v à la sortie et à l'entrée sont inversement proportionnelles aux sections ω et Ω , qui sont elles-mêmes proportionnelles aux cosinus des angles α et β , de sorte que l'on a

$$\frac{V}{\cos \beta} = \frac{v}{\cos \alpha}.$$

Comme, dans le type de turbine marine que nous étudions, la vitesse restante à la sortie d'un aubage mobile est utilisée dans l'aubage fixe suivant, il n'y a pas lieu de chercher à réaliser une vitesse circonférencielle u , qui soit la moitié de la vitesse, comme cela se dit encore fréquemment. Dans le cas présent, cette préoccupation n'aurait aucun sens. Mais on peut faire les remarques suivantes.

L'énergie absorbée par un aubage mobile, ou libérée par un aubage fixe, est proportionnelle à $V^2 - v^2$. L'énergie totale manifestée est proportionnelle à V^2 . C'est à cette énergie totale que sont proportionnelles les pertes dues au frottement ou aux vitesses restantes. Il est donc légitime d'escompter que l'on aura la meilleure utilisation, quand on aura rendu maximum le rapport

$$\frac{V^2 - v^2}{V^2}.$$

Plaçons-nous au milieu de l'échelon, à l'aubage où nous pouvons considérer que la vitesse du courant parallèle à l'axe est la vitesse moyenne w , que nous avons définie, et que nous nous sommes donnée *a priori*.

Cette vitesse w est la projection sur l'axe de la turbine de la vitesse V et de la vitesse v (*fig. 1*).

La vitesse circonférencielle u , autre donnée du problème, est la différence géométrique des vitesses V et v , elle est perpendiculaire à w .

Appelons x la projection de v sur cette perpendiculaire; notre problème actuel consiste à rendre maximum le rapport écrit plus haut. Ce rapport est maximum en même temps que le suivant :

$$\frac{V^2 - v^2}{v^2} = \frac{u^2 + 2ux}{x^2 + w^2};$$

la valeur de x correspondant au maximum est

$$x = \frac{\sqrt{u^2 + 4w^2} - u}{2}.$$

La valeur négative ne correspond à rien de pratique. Dans les turbines actuellement construites, la vitesse périphérique u se rapproche de la vitesse de courant de vapeur parallèlement à l'axe w .

En prenant exactement $u = w$, on trouve

$$x = u \, 0,62 = \tan \beta u,$$

$$u \, 1,62 = \tan \alpha u,$$

$$v = 1,18 u$$

$$V = 1,9 u.$$

Il se trouve que le rapport de $\frac{u}{V} = 0,525$, mais ceci n'est qu'une conséquence du cas particulier où nous sommes placés, sans qu'il y ait lieu d'attacher aucune importance à ce que le rapport s'écarte de 0,5. Si l'on prend pour u et w des valeurs de 30^m à 40^m par seconde, on aura pour V des valeurs de 57^m à 76^m.

Une fois la ligne médiane déterminée, on donnera aux aubes une épaisseur plus ou moins grande, suivant la nature du métal employé.

L'angle d'épaisseur à l'entrée est en général plus obtus que l'angle à la sortie. Comme la densité de vapeur varie un peu dans un échelon, on devra s'assurer, en faisant l'épure des vitesses, que la vapeur entre pour les premiers aubages d'amont tangente à la surface concave, et pour les derniers aubages d'aval tangente à la surface convexe. En un mot, que la direction de la vitesse d'entrée de la vapeur soit comprise dans l'angle de l'épaisseur de l'aube. Si cette condition ne peut pas être réalisée, c'est que le nombre d'aubages par échelon est trop grand.

3° *Hauteur des aubes.* — Si nous connaissons le poids spécifique moyen de la vapeur δ_m qui doit parcourir un échelon, nous en déduirons immédiatement la hauteur des aubes de cet échelon, par la condition de réaliser la vitesse w de courant parallèle à l'axe. Si e est cette hauteur, on doit avoir

$$2 \pi R e w \delta_m = C,$$

C débit total.

Il nous faut donc connaître le poids spécifique moyen, c'est-à-dire les densités de la vapeur à l'amont et à l'aval d'un échelon. Pour le faire, nous supposerons que la courbe donnant le titre de la vapeur en fonction de la température nous est connue, que cette courbe a été relevée sur une turbine analogue déjà construite, en différents points de la détente, et, si nous ne possédons pas de relevé de ce genre, nous supposerons tout simplement que la détente se fait adiabatiquement. Ceci n'est pas rigoureux, et nous conduira à des titres trop faibles, mais cette manière de faire est encore bien suffisante en pratique.

Quoi qu'il en soit, nous supposerons la courbe de détente connue. Pour

avoir les densités à l'amont et à l'aval, il suffira donc que nous déterminions les températures de l'amont et de l'aval.

Nous avons vu, l'année dernière, que l'on pouvait écrire pour un aubage

$$\frac{V^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} = k \Delta t,$$

où K est une grandeur à peu près constante, susceptible d'une représentation géométrique simple.

La valeur limite de K , et qu'il n'atteint jamais, est

$$\frac{Er.x}{t}.$$

Appelons n le nombre des aubages mobiles égal au nombre des aubages fixes. Si t_m est la température de la vapeur à l'amont, et t_a la température de la vapeur à l'aval, on aura pour le Δt d'un aubage fixe ou mobile

$$\Delta t = \frac{t_m - t_a}{2n};$$

d'autre part

$$w = V \cos \alpha,$$

$$w = v \cos \beta;$$

en posant

$$\varphi^2 = \frac{1}{\cos^2 \alpha} - \frac{1}{\cos^2 \beta}$$

nous pourrons écrire

$$\frac{w^2 v^2}{2g} = K \frac{t_m - t_a}{2n}.$$

Si nous connaissions K , nous déduirions immédiatement la différence $t_m - t_a$, et l'une quelconque des températures, si nous connaissions la température initiale.

K ne peut être relevé que sur une turbine déjà construite. Pour cela il faut pouvoir prendre les températures, ou pratiquement les pressions entre chaque échelon. Il existe pour cela un appareil comportant un tambour d'indicateur tournant avec une manette, laquelle met en communication le piston de l'indicateur successivement avec les espaces compris entre chaque échelon. On obtient ainsi une courbe en escalier. Comme w est connu par la connaissance du débit relevé, que φ est une constante géométrique, on peut immédiatement déduire les différentes valeurs de K . On doit alors construire une courbe en fonction des températures, en portant K relevé pour $t_m - t_a$ à la valeur moyenne $\frac{t_m + t_a}{2}$. On peut même porter K sur un diagramme entropique à partir de la courbe d'entropie de l'eau, de façon à pouvoir le comparer à $\frac{Er.x}{t}$.

K est un facteur global comprenant toutes les causes de pertes dans un échelon, et en particulier les vitesses restantes. Sa valeur dépend donc un peu de $2n$, nombre d'aubages par échelon. L'utilisation de l'échelon varie comme

$$1 - \frac{K}{\frac{E r x}{t}},$$

qui peut donner une idée du rendement de l'échelon.

Nous supposons donc que des relevés précédents nous aient permis de déterminer la courbe K. Nous déduirons immédiatement les différents intervalles de température $t_m - t_a$, puisque $2n$ est une donnée du type, les différentes densités moyennes et enfin les différentes hauteurs d'aubes des échelons.

On peut remarquer que, comme K est à peu près constant, $t_m - t_a$ est aussi à peu près constant, et que le travail recueilli dans chaque échelon est constant. La règle, de mettre le même nombre d'aubages par échelon, est donc une bonne règle, parce qu'elle conduit à une bonne répartition des travaux.

La courbe ne doit pas être tout à fait la même pour les turbines H. P. et pour les turbines B. P., puisque le nombre des aubages n'est pas le même. Il faut supposer que ce nombre est bien approprié, ce dont on pourra juger en comparant la situation relative des deux courbes K. Si le nombre des aubages est trop grand, les chocs à l'entrée des aubages extrêmes doivent s'accroître, puisque l'échelon est calculé pour l'aubage moyen. Si le nombre des aubages par échelon est trop faible, les vitesses perdues après chaque échelon prennent une importance relative trop grande. Il y a une balance à faire. On peut, en faisant l'épure des vitesses pour chaque échelon et pour les aubages extrêmes de ces échelons, ce qui ne présente aucune difficulté, juger des conditions dans lesquelles on se trouve.

4° *Nombre des échelons.* — La répartition des travaux entre les différents éléments d'une même turbine est connue *a priori*. On cherche en général à réaliser l'égalité des travaux sur les trois lignes d'arbres. Les températures à l'amont et à l'aval de chaque élément de turbine sont donc des données. Comme chaque échelon correspond à une différence connue de température, on devra mettre un nombre suffisant de ces échelons pour remplir tout l'intervalle de température relatif à un élément. Sur la *Carmania* il y a 6 échelons de 16 aubages mobiles, et 16 aubages fixes pour l'élément H. P., et 11 échelons de 8 aubages mobiles, et 8 aubages fixes pour chacun des éléments B. P. Les trois derniers échelons B. P. ont la même hauteur. La vapeur rencontre donc sur son passage 368 aubages, dans chacun desquels elle se détend un peu.

La détermination des éléments principaux des turbines de marche arrière

se fait d'une façon identique. Dans ce cas la question de rendement a beaucoup moins d'importance, et celle d'encombrement beaucoup plus. On admet une vitesse circonférencielle u beaucoup plus faible que pour la marche avant, ce qui réduit le diamètre du tambour, et au contraire une vitesse de courant parallèle à l'axe v beaucoup plus grande, pour réduire la hauteur et le nombre des aubes. Les pertes par frottement et vitesses perdues sont ici une grande proportion de la puissance totale.

La méthode que nous venons d'exposer a pour but de reproduire dans une application nouvelle les conditions de bon fonctionnement des turbines sur lesquelles on a déjà pu faire des relevés. Cette méthode est relativement simple, si l'on ne s'écarte pas d'un type défini.

Les éléments qui définissent un type comportent des formes géométriques et des vitesses linéaires, que l'on peut aussi considérer comme des grandeurs géométriques. Ces différents éléments sont des données *a priori*.

Les relevés à prendre sur les appareils existants, en plus des relevés ordinaires, sont ceux de débit total en poids de la vapeur, et de pression et température en amont et en aval de chaque échelon.

Ce dernier relevé est facile à faire au moyen d'un appareil d'une manipulation plus simple que celle d'un indicateur.

Le débit est beaucoup plus difficile à relever. Il n'existe pas encore de compteur d'eau, dont la pratique soit courante dans la marine, et les indications suffisamment précises. Le procédé des caisses jaugées conduit à des installations encombrantes. Mais, comme le débit est une donnée fondamentale du calcul des turbines, on ne devra pas hésiter à employer pour le mesurer un moyen quelconque, si dispendieux qu'il puisse être.

On coordonnera les relevés de C par le calcul des coefficients d'utilisation générale μ_1, μ_2, μ_3 , et de poussée par centimètre carré de surface des disques des hélices $\frac{C}{VD^2}$.

On coordonnera les relevés des températures par le tracé des courbes K .

LA SURCHAUFFE DANS LA MARINE.

DISTRIBUTION PAR SOUPAPES COMMANDÉES, SYSTÈME LENTZ,

PAR M. GODARD,

Ingénieur en chef du Génie maritime,

Directeur général des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire (Penhoët).

Il y a une quinzaine d'années, la consommation des machines à triple expansion de la Marine militaire était inférieure à celle des meilleures machines employées à terre dans l'industrie.

La situation est renversée aujourd'hui. Tandis que la consommation des machines de la Marine restait sensiblement la même, celle des appareils fixes s'abaissait successivement, grâce à l'emploi des distributions perfectionnées, et, en dernier lieu, à l'adoption de la vapeur surchauffée, qui se généralise de plus en plus maintenant.

Depuis les célèbres expériences de Hirn sur la machine de Logelbach, on connaissait l'influence économique de la surchauffe. La Marine militaire Française en avait fait des applications sur les frégates cuirassées de Dupuy de Lôme. Ces divers essais n'avaient toutefois pas eu de suite pratique, à cause des difficultés que l'on rencontra pour réaliser des surchauffeurs capables de donner une température régulière, et, dans le cas de la Marine, pour loger les surchauffeurs au-dessous de la flottaison.

Les machines de l'époque de Dupuy de Lôme et de Hirn avec leurs tiroirs plans, leurs garnitures de presse-étoupes de tiges de pistons et de tiroirs en chanvre ou en coton, ne pouvaient supporter une température un peu élevée sans risquer une destruction rapide.

L'introduction des machines compound dans la Marine, avec leurs avantages économiques considérables par rapport au type précédent à simple détente, fit définitivement abandonner la surchauffe. Il en fut de même

dans les appareils fixes, où l'on employa progressivement des appareils de distribution de plus en plus perfectionnés, permettant de réduire de quelques centièmes la valeur des espaces morts, et, par suite, de faire de longues détente effectives.

Cependant, dans les Vosges et en Alsace, on reprit, il y a une dizaine d'années, la question de la surchauffe. Diverses installations faites par M. E. Schwærer, ancien collaborateur de Hirn, avec son surchauffeur massif placé derrière l'autel du foyer des chaudières, donnèrent des résultats tellement intéressants, que l'emploi de la vapeur surchauffée fut étudié par un grand nombre de constructeurs, principalement en Allemagne, dans les Vosges et en Alsace.

On constatait, en effet, que les machines à distribution par soupapes Sulzer, Colman, fort employées dans ces pays, s'accommodaient très bien de la vapeur surchauffée. En France, où la distribution Corliss était généralement employée dans les machines fixes, la surchauffe se répandit fort peu, parce que les machines Corliss s'en accommodaient assez mal, de même que les machines à tiroirs de toute espèce.

L'Exposition universelle de 1900 mit cette situation en évidence.

Depuis lors, l'usage de la vapeur surchauffée se répandit rapidement dans les machines fixes, en donnant des avantages économiques considérables. Il n'est pas exceptionnel de réaliser le *cheval indiqué* de 75^{kgm} avec une dépense de vapeur de 4^{kg}, pour des appareils de 1500^{chx} à 2000^{chx}, employant de la vapeur à la température de 300°.

Nous avons eu l'occasion de faire une série d'essais méthodiques (1), pour mettre en évidence la diminution de la consommation de vapeur d'une machine déterminée, lorsque la température de la vapeur augmente. Les essais en question ont été réalisés en évitant avec le plus grand soin les causes d'erreur, auxquelles donnent fréquemment lieu, dans les recherches de l'espèce, les fuites des organes de distribution — autres que les soupapes. Après chaque essai, on s'assurait que l'étanchéité des tiroirs n'avait pas varié. La vapeur employée était recueillie dans un condenseur à surface, et mesurée dans des caisses *jaugées par pesées successives*.

Les chiffres donnés sur le diagramme (*fig. 1*) présentent donc un caractère d'exactitude tout spécial.

On a porté en abscisses les températures de surchauffe, c'est-à-dire la différence entre la température de la vapeur en degrés centigrades, et celle correspondant à la pression, lorsque la vapeur est saturée. Les ordonnées sont les poids de vapeur consommés par *cheval effectif* réalisé sur l'arbre moteur.

Or, si l'on se reporte à la courbe A (échappement à l'air libre), on voit que la consommation par cheval effectif est de 8^{kg},85 de vapeur saturée ou à

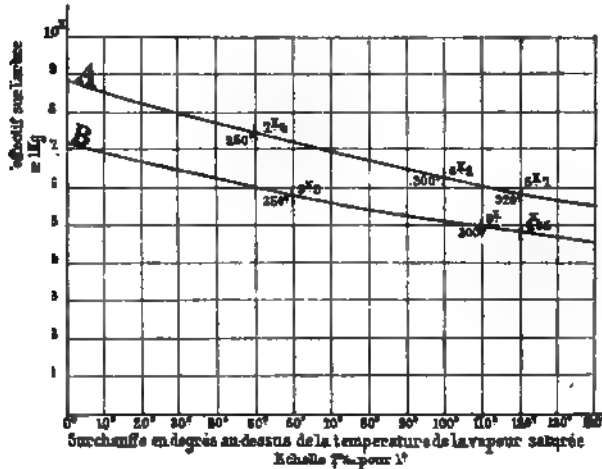
(1) Ces essais ont été faits en 1903-1904 dans les ateliers de la Société Anonyme des Établissements Delaunay-Belleville, à Saint-Denis, sous la direction de M. Georges Widmann.

0° de surchauffe, tandis qu'elle n'est plus que de 5^{kg},70 à 320°, ou avec 120° de surchauffe.

C'est donc une économie de

$$\frac{8,85 - 5,70}{8,85} = 35,5 \text{ pour } 100.$$

Fig. 1.



MACHINE A TRIPLE EXPANSION.

(CONSUMATION DE VAPEUR PAR CHEVAL EFFECTIF).

Caractéristiques :

Diamètre des cylindres : HP, 200; MP, 330; BP, 2 de 370.

Course 290

Nombre de tours..... 440

Puissance..... 300 chevaux effectifs

Introduction..... 0,7

Coefficient de détente.... 9,8

Pression au tuyau : A.... 12,8
de vapeur. / B.... 15,0

A : échappement air libre.

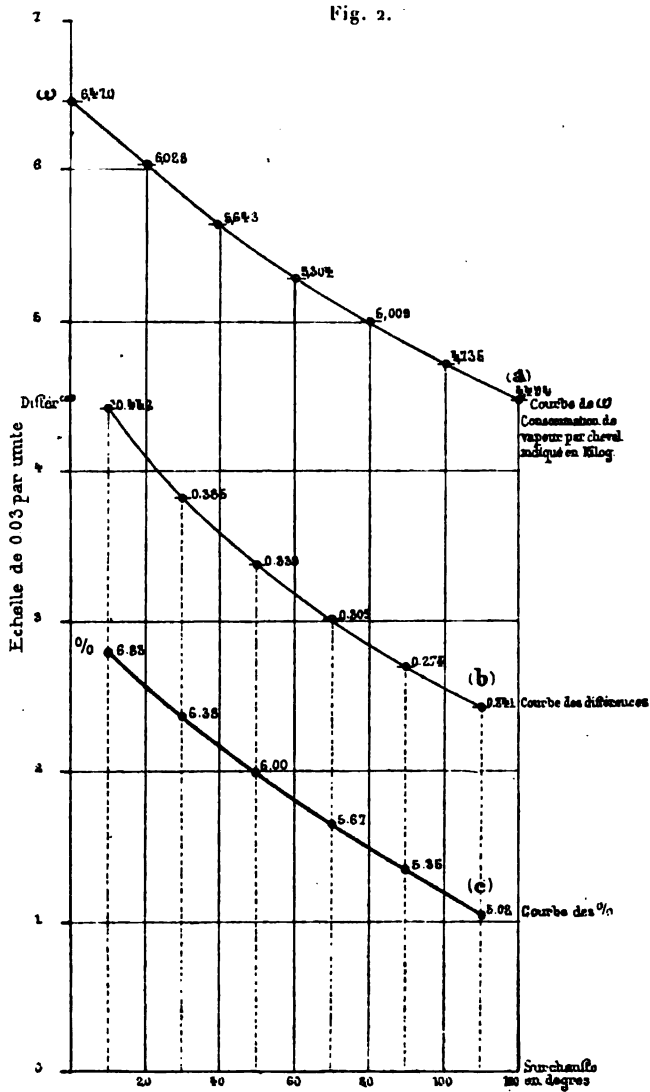
B : échappement au condenseur.

Si l'on considère la courbe B (échappement au condenseur), on voit que la consommation par cheval effectif passe de 7^{kg},15 avec 0° de chauffe, à 4^{kg},85 avec 120° de surchauffe, d'où une économie réalisée de

$$\frac{7,15 - 4,85}{7,15} = 32 \text{ pour } 100.$$

On peut donc considérer comme acquis que la surchauffe est susceptible de procurer une économie de vapeur, par rapport aux mêmes machines employant de la vapeur saturée, de 35 pour 100 aux machines échappant à l'air libre, et de 32 pour 100 aux machines échappant au condenseur.

Le diagramme (*fig. 2*) déduit du précédent en tenant compte du rendement mécanique du moteur d'essai, qui est de 0,92 environ, donne les consommations de vapeur par cheval indiqué en fonction de l'accroissement de



la surchauffe (courbe *a*). La courbe (*b*) donne les différences de consommation pour des accroissements successifs de 20 degrés de la surchauffe.

La courbe (*c*) représente les diminutions en centièmes de la consommation pour un accroissement de 20 degrés de surchauffe. Elle met en évidence la proportionnalité de la consommation à la température de surchauffe, dès que la vapeur se comporte comme un gaz. Dans les essais ci-dessus cette température est de 50°.

La diminution de la consommation dépend de la constitution de la machine en expérience ; dans le cas considéré, elle est de 1 pour 100 par 4 degrés de surchauffe. C'est une valeur qu'on indique souvent.

Des doutes se sont cependant élevés au sujet de l'efficacité de la surchauffe *en service*. Cela tient, sans aucun doute, à l'usure des distributeurs, dont étaient munies les machines sur lesquelles on opérait, et dont les fuites absorbaient une partie de l'économie réellement produite par la surchauffe.

Il est bien reconnu aujourd'hui que les distributeurs de machines employant la vapeur surchauffée ne doivent pas supporter de frottements, et, en fait, on ne construit pour ainsi dire plus que des machines à distribution par soupapes, lorsque la température de la vapeur doit être un peu élevée.

Nous nous sommes demandé s'il ne serait pas possible d'introduire dans les navires de la Marine de guerre et de la Marine de commerce l'emploi de la vapeur surchauffée, qui aurait pour effet de diminuer à la fois le poids et l'encombrement des chaudières, et celui de l'approvisionnement de charbon (pour une distance franchissable donnée).

Les poids et les espaces ainsi rendus disponibles permettraient d'augmenter les autres éléments des navires : puissance offensive et défensive, vitesse ou puissance commerciale des paquebots et cargo-boats.

Nous avons indiqué ci-dessus que la vapeur surchauffée exigeait l'emploi de distributions par soupapes. Or, les essais que la Marine militaire avait faits, il y a plus de vingt ans, sur les machines de la *Naïade*, avec des soupapes insuffisamment équilibrées mues par des cames tournantes, n'avaient pas donné satisfaction.

Ces expériences avaient laissé un souvenir peu favorable à l'emploi des soupapes dans la Marine.

Il fallait donc tout d'abord expérimenter à nouveau la distribution par soupapes sur des machines de navires de mer, avant de penser à y introduire la surchauffe de la vapeur. M. le Ministre de la Marine a bien voulu accepter les propositions que la Société de Saint-Nazaire lui a faites en 1905, de munir de soupapes système Lentz la machine du remorqueur *Dolmen*, et celle du torpilleur n° 366, du type ordinaire de 97^{ts}. La première est en essais, et paraît devoir donner toute satisfaction ; la seconde sera terminée dans le second semestre de 1906.

En même temps, la même Société construisait pour la Compagnie Générale Transatlantique deux cargos identiques : l'un avec la machine ordinaire à triple expansion à distribution par tiroirs, et l'autre avec la même machine, mais avec distribution par soupapes système Lentz. Cette dernière aura en outre les mêmes chaudières que la première, mais avec surchauffeur intérieur système Pielock.

Les deux navires entreront en service dans le second semestre de 1906.

On aura ainsi le moyen de faire des comparaisons précises en service courant, et de se rendre un compte exact des bénéfices que peut réellement procurer la surchauffe à bord.

Il nous a paru intéressant de fournir à l'Association Technique Maritime les indications qui précèdent, avec la description de la distribution par soupapes équilibrées système Lentz, et du surchauffeur système Pielock.

La distribution Lentz parut pour la première fois en France à l'Exposition universelle de 1900, sur un moteur présenté par la Erste Brünner Maschinen Fabrik de Brunn (Autriche). Le point le plus caractéristique du système (voir *fig. 3*) est le parfait équilibrage des soupapes à double siège qu'il comporte. Cet équilibrage est obtenu par l'emploi de portages très réduits, donnant sur les sièges une pression facile à vaincre par les cames de distribution. Les soupapes d'échappement sont construites avec les deux sièges égaux en diamètre, pour éviter leur soulèvement pendant la période de compression.

L'égalité des deux diamètres est réalisée au moyen d'un artifice de construction fort simple : le siège extérieur de la soupape est venu de fonte avec elle, tourné avec elle, puis découpé, rodé et mis en place toujours avec elle.

La conséquence de ces dispositions est que les poids des soupapes, les efforts nécessaires pour les faire mouvoir sont très restreints; l'inertie est équilibrée par un ressort calculé de telle manière, que la soupape ait toujours une prépondérance vers la came qui doit l'actionner.

La came est tracée de manière à venir attaquer tangentiellement le galet qui termine la tige de la soupape. Puis, lorsque le contact est établi, le soulèvement brusque se produit. Dans la descente, les mêmes phases se reproduisent en sens inverse. En plus la came quitte de quelques dixièmes de millimètre le galet, lorsque la soupape est venue reposer sur son siège, afin que le portage en soit parfaitement assuré.

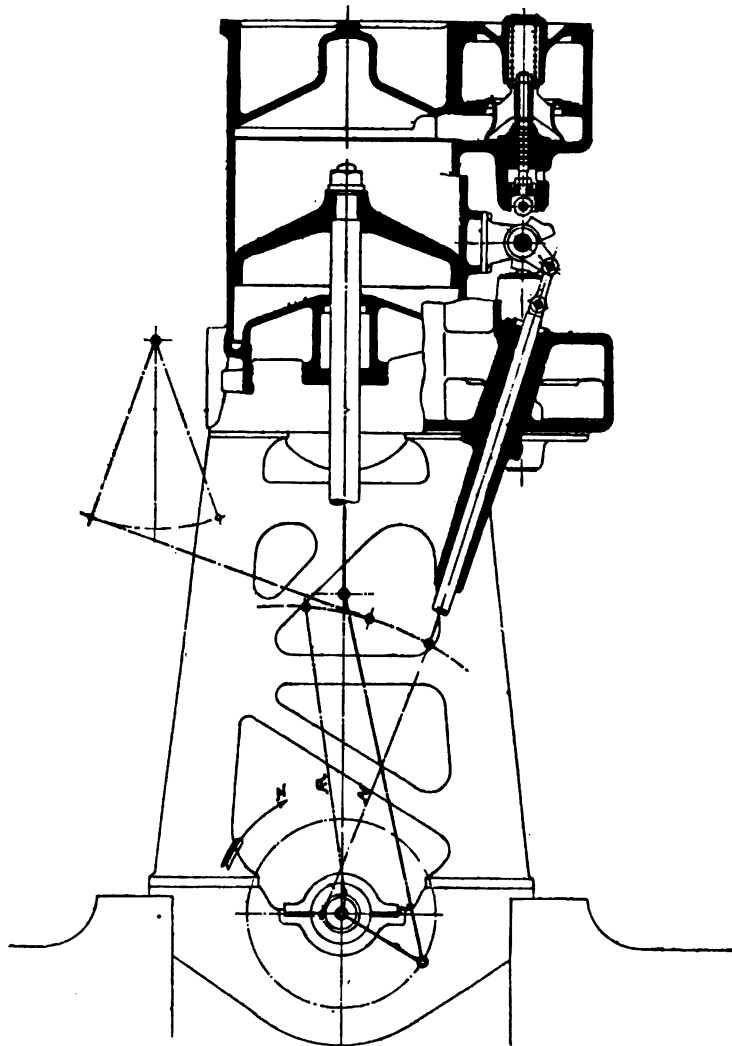
Les soupapes et les cylindres sont *en fonte*, pour que le coefficient de dilatation soit le même, et que l'étanchéité soit réalisée à toutes les températures. Dans la pratique, les soupapes conservent leur étanchéité *sans usure pendant des milliers d'heures de marche*; les cames, bien que non trempées, ne s'usent pas non plus, et aucun réglage n'est nécessaire pendant un temps de fonctionnement considérable.

L'absence d'usure correspond à une absence de chocs, et à une marche silencieuse, qui permettent de faire tourner les machines à soupapes système Lentz *au nombre de tours le plus élevé* qu'on emploie actuellement à bord des navires, ou bien sur les locomotives, les groupes électrogènes, etc.

La figure 3 représente le dispositif Lentz appliqué à une machine marine avec distribution par coulisse Stephenson ordinaire. Il est à remarquer que

la réaction sur l'arbre de relevage, dans le cas des soupapes, n'est guère que $\frac{1}{30}$ de la valeur qu'elle atteint avec des tiroirs.

Fig. 3.



La figure 4 représente la distribution Lentz appliquée à une locomotive. Dans ce cas, les cames ne sont plus menées par un arbre oscillant, mais par la tige même de l'ancien tiroir, dans laquelle les cames sont taillées.

Nous avons vu une machine Lentz de 500^{chx} à 600^{chx}, qui conduit *seule sans rechange* les ateliers de la Swiderski Maschinen Fabrik de Leipsick. Cette machine tourne à 300 tours par minute sans bruit, et fonctionne depuis plus de deux ans et demi, 10 heures par jour, et même nuit et jour pendant de longues périodes.

Une machine analogue, mais avec graissage forcé, vient d'être mise en marche dans les chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire, où elle conduit

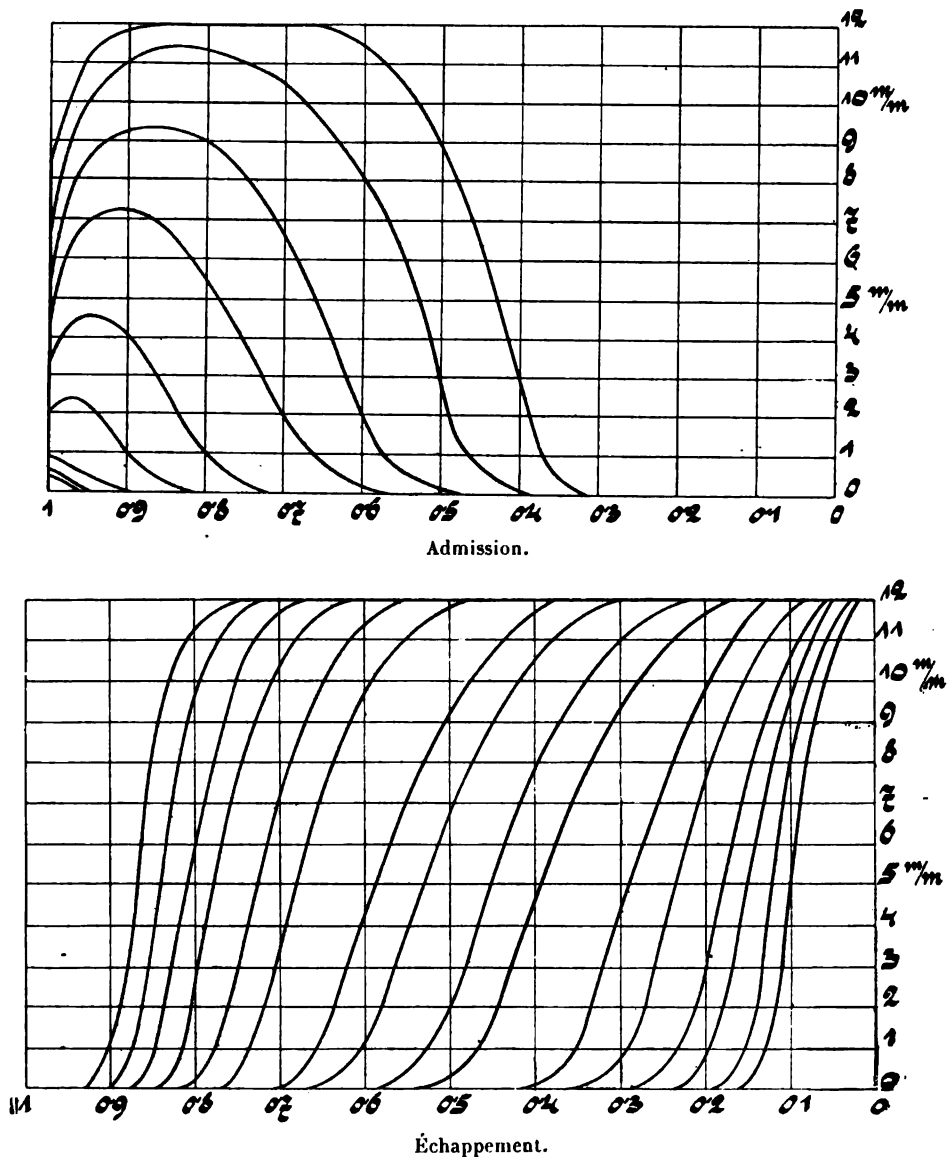
Fig. 4.

Reconstruction d'une locomotive par soupapes Lentz, pour les Chemins de fer de l'Ouest.

directement, à 275 tours par minute, une dynamo de 600 kilowatts dans des conditions très satisfaisantes.

Nous avons dit que le mouvement est donné aux soupapes par des cames. Ces cames sont elles-mêmes actionnées, suivant les cas, par la coulisse

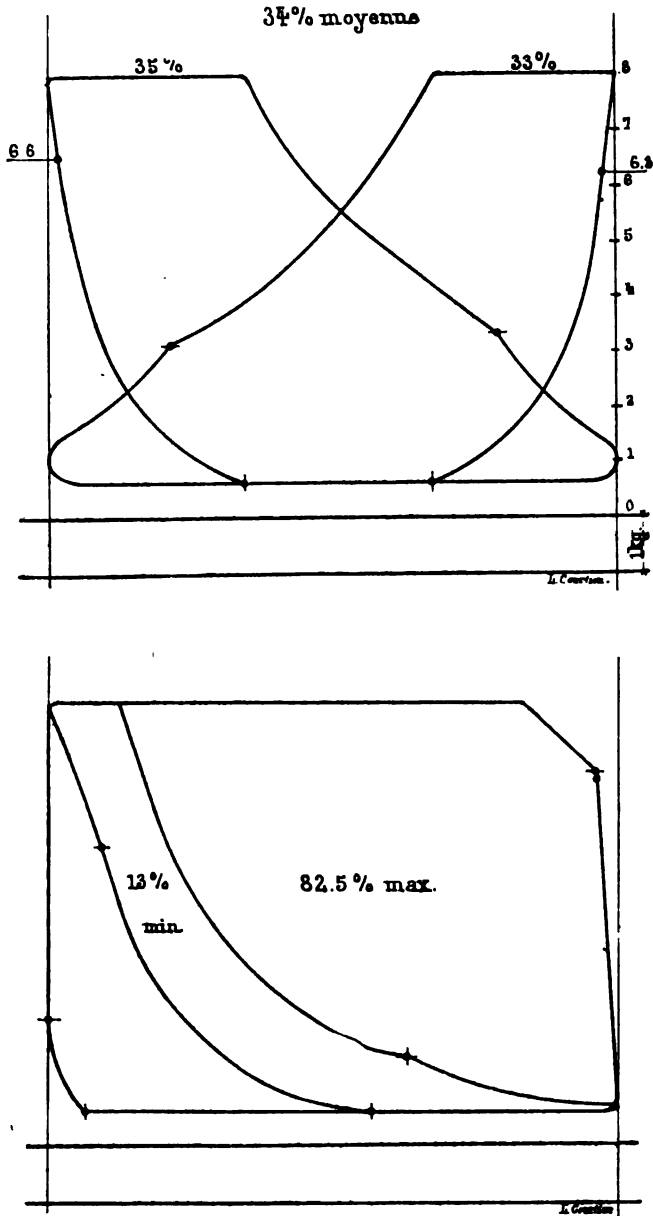
Fig. 5.



ordinaire des machines à changement de marche, ou tout autre dispositif équivalent ; par un excentrique à décalage mû par le régulateur des machines fixes.

En faisant varier la position de la coulisse, on modifie les phases de la distribution, comme dans le cas des tiroirs.

Fig. 6.



On voit sur la figure 5 les diagrammes successifs obtenus en faisant tracer un trait par un point d'une tige de soupape sur une feuille de papier montée

sur le tambour d'un indicateur. Chacun des tracés correspond à un des crans de la coulisse. La trajectoire des soupapes est presque tangente à leurs sièges dans la pratique, et cependant les ouvertures et fermetures sont très rapides.

Comme dans toutes les distributions de l'espèce, il y a une soupape d'admission et une soupape d'échappement par extrémité de cylindre. On profite naturellement de cette circonstance pour régler au mieux les phases de la distribution, pour l'introduction correspondant à la puissance la plus intéressante. La figure 6 représente le diagramme théorique, avec ses diverses phases, à une introduction moyenne réduite. On voit que les introductions sont presque égales des deux côtés du piston (35 pour 100 et 33 pour 100), et que les compressions ne dépassent pas la pression d'admission, malgré la faible introduction réalisée.

La figure 7 montre un autre avantage très intéressant de la distribution système Lentz. On peut obtenir des sections d'ouverture effectives des lumières d'un cylindre beaucoup plus grandes, avec des soupapes d'un diamètre inférieur à celui des tiroirs cylindriques correspondants, tout en donnant aux soupapes une levée, qui n'est guère que $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{6}$ de la course du tiroir ordinaire.

Nous ajouterons que les espaces morts des cylindres à soupapes sont à peine la moitié de ceux des cylindres à tiroirs correspondants. Ces différentes causes donnent lieu à une économie de vapeur, variable suivant les types de machines servant de terme de comparaison, mais qu'on peut évaluer à 8 pour 100, dans le cas des machines marines les plus courantes.

Le mode d'étanchéité des tiges des soupapes et des tiges de piston dans le système Lentz mérite une description particulière (voir *fig. 8*). Les tiges en acier des soupapes passent à frottement doux dans une douille guide en fonte. Des cannelures ménagées sur la tige suffisent pour créer des chutes de pression successives, et donner une étanchéité complète, *sans frottement* des pièces. La garniture de tige de piston est basée sur le même principe.

L'étanchéité est parfaite malgré l'absence de frottement. Cette absence de frottement constitue l'avantage capital de la garniture Lentz, qui peut être employée avec les plus hautes surchauffes, sans donner lieu à usure.

En résumé :

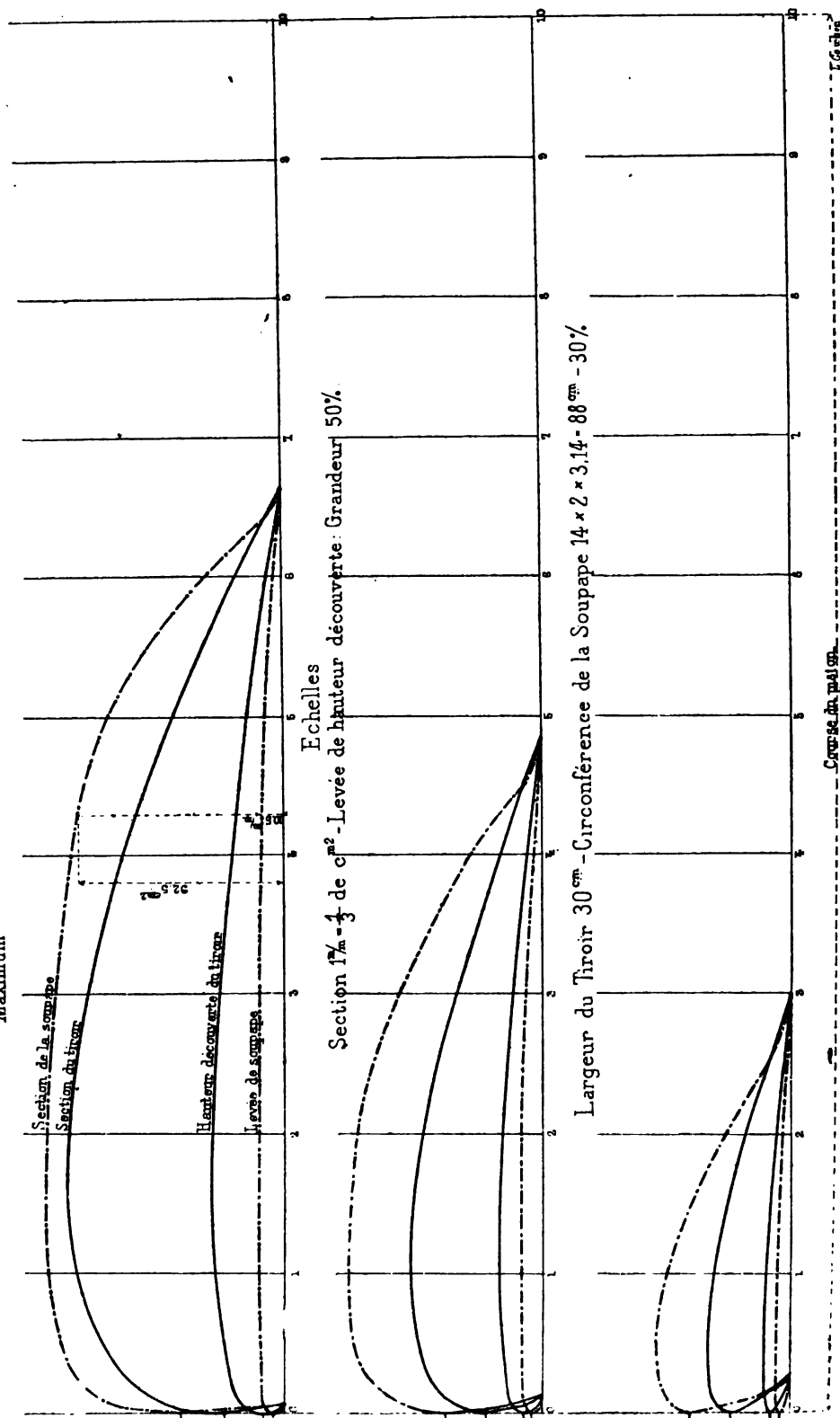
La distribution par soupapes système Lentz permet de constituer des machines de navires compactes, d'une longueur et d'un encombrement réduits, d'une visite et d'un entretien faciles.

Les soupapes bien équilibrées peuvent être actionnées par des organes de poids et d'encombrement restreints, soumis à des fatigues extrêmement faibles.

L'absence de frottement sur les tiges des soupapes, de chocs de celles-ci

Fig. 7.

Maximum



sur leur siège, l'emploi de garniture également sans frottement pour les tiges de piston font des machines système Leutz des appareils tout particulièrement disposés pour utiliser la vapeur surchauffée.

Fig. 8.

Une série de boîtes, empilées dans la douille, forme un tout rigide sous la pression de la bride de serrage. Ces boîtes déterminent une suite de chambres annulaires, et leurs joues laissent à la tige un large passage. Dans ces chambres annulaires viennent se loger de deux en deux les bagues dites d'étanchéité. Celles-ci sont justes sur la tige; elles ont du jeu entre les joues des boîtes qui les ensèrent, et leur diamètre extérieur est plus petit que le diamètre intérieur des chambres.

L'axe de la tige du piston peut ainsi se déplacer dans tous les sens, et les bagues d'étanchéité sont entièrement libres pour suivre cette tige dans tous ses mouvements.

Les bagues d'étanchéité sont en une seule pièce; elles ne peuvent produire ni serrage ni pression sur la tige.

Toute cette construction est en fonte.

Pendant l'admission, la première bague, côté cylindre, est pressée contre la portée de la paroi antérieure de la boîte qui l'enserme. Les portées de la bague et de la boîte sont rodées, et font un joint étanche.

La vapeur fuit par le très faible jeu entre la bague et la tige, et pénètre dans la chambre suivante avec une grande chute de pression. Cette vapeur agit de même sur la deuxième bague, qu'elle colle sur la portée correspondante, et, fusant de nouveau entre bague et tige, pénètre dans la deuxième chambre de détente où la chute de pression est considérable. Le faible excès de pression qui s'établit dans cette deuxième chambre agit à son tour sur la troisième bague. Le nombre de bagues et de chambres varie suivant la pression initiale.

La vapeur surchauffée vers 300° à 320°, ainsi employée dans des appareils qui lui conviennent, donnera, au moins, d'après les essais connus, une économie de vapeur de 20 à 35 pour 100 par rapport à la vapeur saturée.

En tenant compte de la moindre production de vapeur des chaudières munies de surchauffeurs, évaluée à 5 pour 100, le bénéfice final se traduira par une économie de charbon de 15 à 25 pour 100.

A titre d'indication on pourrait gagner les poids suivants sur l'appareil moteur et évaporatoire d'un croiseur type *Ernest-Renan*, en ne comptant que 15 pour 100 d'économie de charbon :

Machines proprement dites (tuyautage).....	100 ^{tx}
Chaudières et leur tuyautage.....	150
Charbon.....	180
Total... ..	<u>430</u>

LES PAQUEBOTS DU MIDLAND RAILWAY,

PAR M. HART,

Ingenieur attaché au service maritime du Chemin de fer du Nord.

En 1904 la Compagnie du Midland Railway créa à Heysham, dans la baie de Morecombe (Lancashire), une gare maritime, et ouvrit deux lignes de paquebots de ce port à Belfast et à l'île de Man.

Ces lignes ont, la première une longueur de 122 milles marins, et la seconde de 60 milles.

Pour assurer ces nouveaux services, la Compagnie décida, sur un rapport de M. John Mathieson, son Directeur, et du Professeur Biles assisté de M. Gray, tous deux architectes navals, de faire construire quatre paquebots, dont deux à machines alternatives et deux à turbines.

Les paquebots à machines alternatives et un des paquebots à turbines devaient avoir les mêmes dimensions et formes, et être affectés au service Heysham-Belfast.

Le second paquebot à turbines, un peu plus large, bien qu'ayant la même longueur et les mêmes formes, devait assurer le service sur l'île de Man beaucoup plus proche que Belfast.

La similitude de dimensions des trois premiers paquebots devait permettre des comparaisons fructueuses, tant au point de vue du poids de la machinerie et de son encombrement, que de la consommation de vapeur et de combustible, et aussi de la vitesse réalisée.

Enfin la comparaison des prix de revient devait aussi donner lieu à des comparaisons intéressantes.

Le quatrième paquebot, à turbines, était à peine un peu plus grand que les autres, de manière à permettre l'emploi de turbines plus développées, pouvant utiliser économiquement toute la vapeur produite par les chaudières, en donnant une vitesse plus grande.

Les deux paquebots à turbines, bien que de dimensions presque semblables, étaient donc conçus dans des vues tout à fait différentes.

Le premier, qui devait donner la même vitesse que les paquebots à machines

alternatives, devait montrer quel gain de poids pouvaient, à vitesse égale, procurer les turbines, tandis que le second devait au contraire montrer quel gain de vitesse on pouvait réaliser, avec le même système de chaudières que les paquebots à machines alternatives et la même chauffe, mais en munissant le navire des turbines les plus puissantes possibles, en gardant le même poids ou à peu près que les machines alternatives.

Leur étude détaillée présente donc à ce double point de vue un intérêt considérable, d'autant plus qu'ils ont été soumis à des essais prolongés, et qu'à la dernière session des Naval Architects, M. W. Gray a donné quelques résultats obtenus en service, à la vérité trop incomplets pour servir de base à une opinion définitive, mais permettant cependant des comparaisons intéressantes.

Conditions du marché. — Les dimensions des coques et leurs échantillons ont été fixés par MM. Biles et Gray, et les constructeurs n'eurent guère d'action que sur la machinerie, au sujet de laquelle toute liberté leur était laissée.

La seule condition fixée à cet égard était que les paquebots, tant à machines alternatives qu'à turbines, devaient pouvoir soutenir pendant 6 heures une vitesse de 20 nœuds, avec deux chaudières double ended seulement en feu, et 300 tonnes de charge à bord.

Une pénalité de 25000^{fr} par dixième de nœud en moins était applicable jusqu'à 19ⁿ,5. Au-dessous de cette vitesse les paquebots pouvaient être refusés.

Construction des paquebots. — La surveillance des travaux fut confiée à MM. Biles, Gray et M. R.-W. Yardley, résident maritime à Heysham, et ingénieur de la Compagnie du Midland Railway.

La construction fut confiée à la maison John Brown et C^{ie} pour l'*Antrim*, un des paquebots à machines alternatives, à la maison Caird et C^{ie} pour le second, le *Donegal*.

Le paquebot à turbines semblable à l'*Antrim* et au *Donegal* fut construit par la maison Denny Brothers de Dumbarton. Quant au second paquebot à turbines, le *Manxman*, un peu plus grand que les trois autres, il fut construit par la maison Vickers Maxim et C^{ie}, de Barrow-in-Furness.

Les machines alternatives furent construites par les maisons chargées des coques, mais les turbines furent toutes construites par la Parsons Marine Turbine Co, de Wallsend on Tyne.

Il faut d'ailleurs noter que les machines alternatives ont été faites aussi légères que possible, de manière à rendre les comparaisons de poids d'autant plus frappantes.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION DES PAQUEBOTS.

Caractéristiques des paquebots. — Les caractéristiques des quatre paquebots, nécessairement peu différentes, sont données par le tableau ci-après :

TABLEAU I.

Caractéristiques.	Machines alternatives.	Turbines.	
	<i>Antrim</i> <i>Donegal.</i>	<i>Londonderry.</i>	<i>Manxman.</i>
Longueur.....	100 ^m ,58	100 ^m ,58	100 ^m ,58
Largeur au fort.....	12 ^m ,81	12 ^m ,81	13 ^m ,115
Creux au droit des barrots du pont supérieur.....	7 ^m ,77	7 ^m ,77	7 ^m ,77
Creux au droit des barrots du pont principal.....	5 ^m ,485	5 ^m ,485	5 ^m ,485
Tirant d'eau moyen, en ordre de marche.	4 ^m ,114	3 ^m ,962	4 ^m ,035
Volume en mètres cubes.....	2534 ^{m³}	2339 ^{m³}	2425 ^{m³}
Rapport du volume au parallélipède circonsrit.....	0,4793	0,4793	0,4793
Déplacement.....	2600 ^t	2400 ^t	2489 ^t
Déplacement par centimètre d'immer- sion à la flottaison.....	13 ^t ,2	13 ^t ,2	13 ^t ,6

Dispositions générales des paquebots. — Les paquebots sont construits suivant les règles du Board of Trade. Leurs installations sont les mêmes pour les trois navires destinés au service sur Belfast, et un peu différentes sur le *Manxman* affecté au service sur l'île Man.

Ils comportent quatre ponts, y compris un pont-tente supporté par un roufle de 67^m de long placé sur le pont supérieur, et renfermant une partie des aménagements de 1^{re} classe à l'avant, et les cabines des officiers à l'arrière, à l'exception du capitaine et du premier officier, logés dans un roufle disposé à l'avant du pont-tente, et supportant lui-même la chambre de navigation et la passerelle.

L'avant du pont-promenade, jusqu'au panneau de charge, est affecté aux passagers de 1^{re} classe, qui sont séparés par une barrière des passagers de 3^e classe. Sur ces paquebots, pas plus que dans les trains du Midland, il n'existe d'installations de 2^e classe.

Les installations de 1^{re} classe comprennent 270 lits, dont 156 sur le pont-

promenade, et 114 sur le pont principal. Les cabines ont généralement 2 lits, quelques-unes en ont 4, d'autres 1 seul, à l'image des sleeping-cars Anglais.

Ces installations, comme celles de 3^e classe, comportent tous les services annexes, notamment un salon-restaurant pour 74 personnes, placé sur le pont inférieur.

Les installations de 3^e classe comprennent 11 cabines et 48 lits, et un salon des dames en contenant 10. Elles sont appropriées à 85 voyageurs.

Les stewards sont logés à l'avant du pont principal, l'équipage sur le pont inférieur à l'avant et les chauffeurs sur le même pont à l'arrière.

L'arrière du pont principal et celui du pont inférieur sont aménagés pour recevoir des boxes à bétail.

Toutes ces installations sont simples et bien disposées; celles de 1^{re} classe sont très confortables, mais sont, par suite de leur position à l'avant, soumises à d'assez durs rappels dans les mouvements de tangage par mauvais temps.

La ventilation est assurée par un système spécial dit *thermo-tank*, qui sert en même temps pour le chauffage par les temps froids.

Système de ventilation et de chauffage. — Ce système est destiné à assurer aux divers locaux une arrivée d'air pur, chauffé ou refroidi au degré voulu suivant la saison, et, dans le cas de chauffage, humidifié pour éviter une siccité malsaine et désagréable.

Il comporte (*fig. 1*) un appareil réchauffeur d'air, composé de tubes verticaux, recevant par le bas de la vapeur des chaudières détendue à 2^{kg},100 environ, surmonté d'un tuyau en couronne percé de petits orifices, permettant de mélanger, en quantité variable suivant les besoins, de la vapeur d'eau à l'air traversant l'appareil.

En hiver, l'air puisé dans l'atmosphère par un ventilateur électrique se réchauffe et s'humidifie en traversant l'appareil, et pénètre ensuite dans les locaux près des plafonds. Son refroidissement progressif le fait s'abaisser vers le plancher, et il s'échappe par des ouvertures disposées près de celui-ci.

En été, au contraire, le circuit est renversé, l'appareil réchauffeur ne sert plus que comme appel d'air, et seulement si le ventilateur est insuffisant à assurer la circulation de l'air.

La figure 1 représente l'ensemble de l'appareil; les flèches indicatrices du parcours de l'air, et les valves tracées en traits pleins se rapportent au fonctionnement d'hiver, le tracé pointillé au fonctionnement d'été.

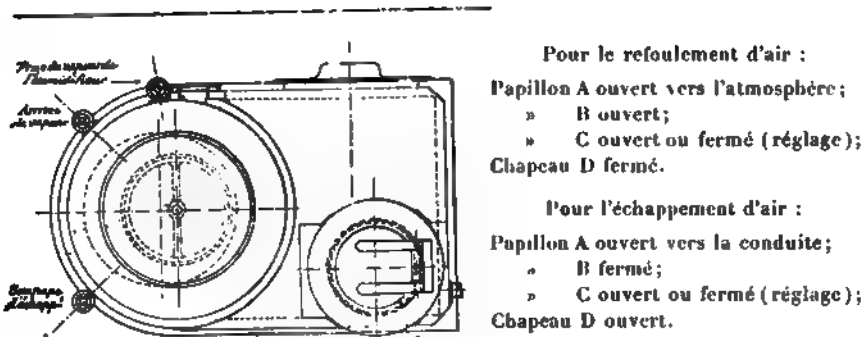
La ventilation et le chauffage réalisés par ce système sont certainement meilleurs qu'avec les autres systèmes, notamment avec les radiateurs, l'air chaud (ou froid) se répartissant beaucoup plus uniformément.

Appareil évaporatoire. — La disposition des appareils évaporatoires est exactement la même sur les quatre paquebots. Les chaudières ont les mêmes dimensions et les mêmes surfaces de grille et de chauffe. Il n'existe qu'une

différence concernant le *Londonderry*, la pression de régime de ses chaudières n'étant que de $10^{\text{kg}}, 540$, au lieu de $14^{\text{kg}}, 060$.

Les chaudières sont au nombre de trois par paquebot, et sont du type

Fig. 1. — Appareil de ventilation et de chauffage *Thermo-Tank*.



cylindrique dit *Écossais*. Deux d'entre elles, placées à l'arrière des chaufferies, sont *double ended*.

La troisième, placée à l'avant, dans l'axe du navire, est au contraire *simple ended*.

Les dimensions des chaudières sont les suivantes :

TABLEAU II.

	<i>Double ended.</i>	<i>Simple ended.</i>
Longueur.....	6 ^m ,710	3 ^m ,355
Diamètre.....	4 ^m ,727	4 ^m ,727
Nombre de foyers par chaudière.....	6	3
» par chaufferie.....	12	3
Surface de chauffe totale S_c		1157 ^{m²} ,62
Surface de grille totale S_g		37 ^{m²} ,16
Rapport $\frac{S_c}{S_g}$		30,9

Ces chaudières fonctionnent à tirage forcé en vase clos. La pression d'air leur est fournie par quatre ventilateurs disposés sur le pont principal, au-dessus des chaufferies. Ces ventilateurs sont commandés électriquement sur les navires à machines alternatives, et par des moteurs à piston à grande vitesse sur les navires à turbines.

Aux essais à grande allure, la pression d'air aux chaufferies n'a pas dépassé 31^{mm},7.

Le poids des appareils évaporatoires est de 460 tonnes pour l'*Antrim*, le *Donegal* et le *Manxman*, et de 391 tonnes pour le *Londonderry*.

Appareils moteurs. Machines alternatives. — Les machines alternatives de l'*Antrim* et du *Donegal* sont du même type, et ne présentent que des différences de détail.

Elles sont très légères, puisque, pour une puissance d'environ 6000 IHP, leur poids total étant de 210 tonnes, elles ne pèseraient que 35^{kg} par cheval pour la puissance maxima. Encore faut-il remarquer que la puissance développée à grande allure dépasse 6000 IHP, de sorte que le poids par cheval descend au-dessous de 30^{kg}.

L'appareil moteur se compose de deux machines à triple expansion et à quatre cylindres symétriques, commandant chacune une hélice.

Les cylindres ont respectivement des diamètres de 0^m,584 pour le HP, 0^m,914 pour le MP, et 1^m,067 pour chacun des deux cylindres BP. Ceux-ci sont placés aux deux extrémités de la machine, afin d'équilibrer les poids des harnais et les forces d'inertie (*fig. 2*).

Les cylindres HP et MP sont munis de distributeurs cylindriques, les cylindres BP de tiroirs plans équilibrés à double orifice.

La distribution est à coulisse Stephenson; elle est actionnée par un servomoteur avec frein hydraulique.

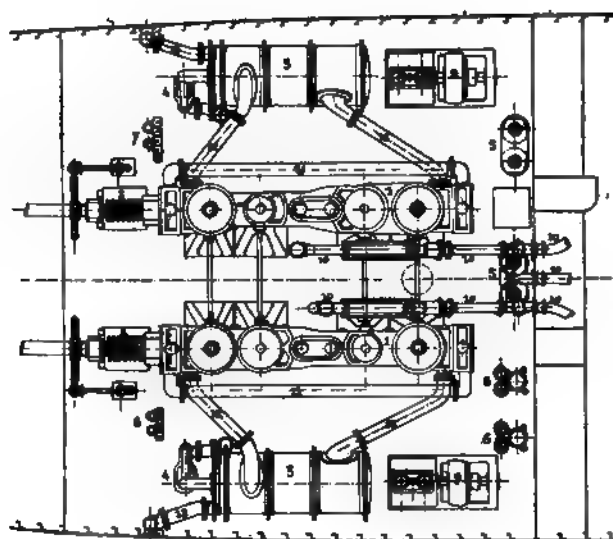
Le vireur est commandé par une petite machine à pilon indépendante de la machine principale.

L'arbre coudé est en deux parties, comprenant chacune deux manivelles,

assemblées par des tourteaux boulonnés et clavetés, placés entre les excentriques de distribution HP et MP.

Les arbres sont forés et en acier doux forgé. Il existe un palier entre chaque manivelle, et deux entre les manivelles HP et MP.

Fig. 2. — Machinerie de l'*Antrim*.



- 1, 1, Machines motrices.
- 2, 2, Paliers de butée.
- 3, 3, Condenseurs.
- 4, 4, Pompes de circulation.
- 5, 5, Pompes à air Weir.
- 6, 6, Pompes alimentaires Weir.
- 7, 7, Pompes de cale Weir.
- 8, 8, Pompes de service Weir.
- 9, 9, Groupes électrogènes.
- 10, 10, Tuyaux d'arrivée de vapeur.
- 11, 11, Tuyaux de communication entre les cylindres BP.
- 12, 12, Tuyaux d'évacuation au condenseur.
- 13, 13, Tuyau d'évacuation de l'eau de circulation.

Les condenseurs, disposés parallèlement aux machines, et vers l'extérieur du navire, sont de section circulaire. Ils sont en tôle d'acier étamée et rivée. Leurs coquilles d'arrière et de sortie d'eau, les plaques tubulaires et les portes de visite sont en bronze.

Des coursives latérales, disposées entre les machines et les condenseurs, facilitent la surveillance et la manœuvre.

Une coursive centrale donne accès à l'autre côté de la machine.

Les machines motrices pèsent 210 tonnes.

Appareils auxiliaires des machines alternatives. — Les pompes à air, à

double cylindre, sont indépendantes des machines motrices. Elles sont du système Weir, et sont commandées par des cylindres à vapeur de 0^m,190 de diamètre. Les cylindres à eau et à air ont un diamètre de 0^m,508. La course commune est de 0^m,406.

La figure 3 donne la disposition de ces pompes ⁽¹⁾.

Les pompes alimentaires, également du système Weir, ont des cylindres à vapeur de 0^m,381 de diamètre. Les cylindres à eau, en bronze, ont 0^m,279 de diamètre et 0^m,660 de course. Le débit de chacune d'elles (elles sont au nombre de 2) correspond à la consommation d'eau à la puissance de 6000 IHP. La figure 4 donne les dispositions de ces pompes, qui sont à allure lente, et dont le fonctionnement est réglé automatiquement par un dispositif à flotteur indiqué sur la figure 2.

Outre ces pompes, la chambre de la machine renferme deux pompes doubles de cale, une pompe double d'épuisement et un filtre d'eau de condensation.

Deux groupes électrogènes, composés de dynamos commandées par machines alternatives, et susceptibles de fournir chacun tout l'éclairage du navire, sont disposés de chaque côté à l'avant de la chambre des machines (voir fig. 2).

Le poids total de la machinerie de l'*Antrim* et du *Donegal* est de 730 tonnes.

Appareils moteurs-turbines. — La machinerie du *Londonderry* et celle du *Manxman* comportent toutes deux trois turbines commandant chacune un propulseur, mais les turbines du *Manxman* sont de plus grandes dimensions que celles du *Londonderry*. Elles sont par suite plus lourdes, mais utilisent la vapeur plus économiquement.

La turbine HP est placée dans l'axe du navire, et les deux turbines BP parallèlement de chaque bord.

L'enveloppe de ces dernières turbines renferme également les deux turbines de marche arrière. Conformément à la disposition usitée jusqu'ici, il n'y a pas de turbine de marche arrière montée sur l'arbre central.

Les turbines de marche arrière pourront développer utilement environ 60 pour 100 de la puissance totale de marche avant. C'est sensiblement plus que sur les installations précédentes, où cette proportion ne dépassait guère 50 pour 100.

La vapeur arrive des chaudières à l'appareil de manœuvre, disposé sur le pont principal pour le *Londonderry*, et sur la plate-forme des turbines sur le *Manxman*, et de là passe, à l'aide de deux servo-moteurs commandant des

(1) La figure indique une pompe double sur un seul cylindre à vapeur. Sur l'*Antrim* et le *Donegal*, il y a deux cylindres à vapeur placés dans l'axe de chaque pompe.

Fig. 3. — Pompe à air double, système Weir, avec cylindre à vapeur unique.

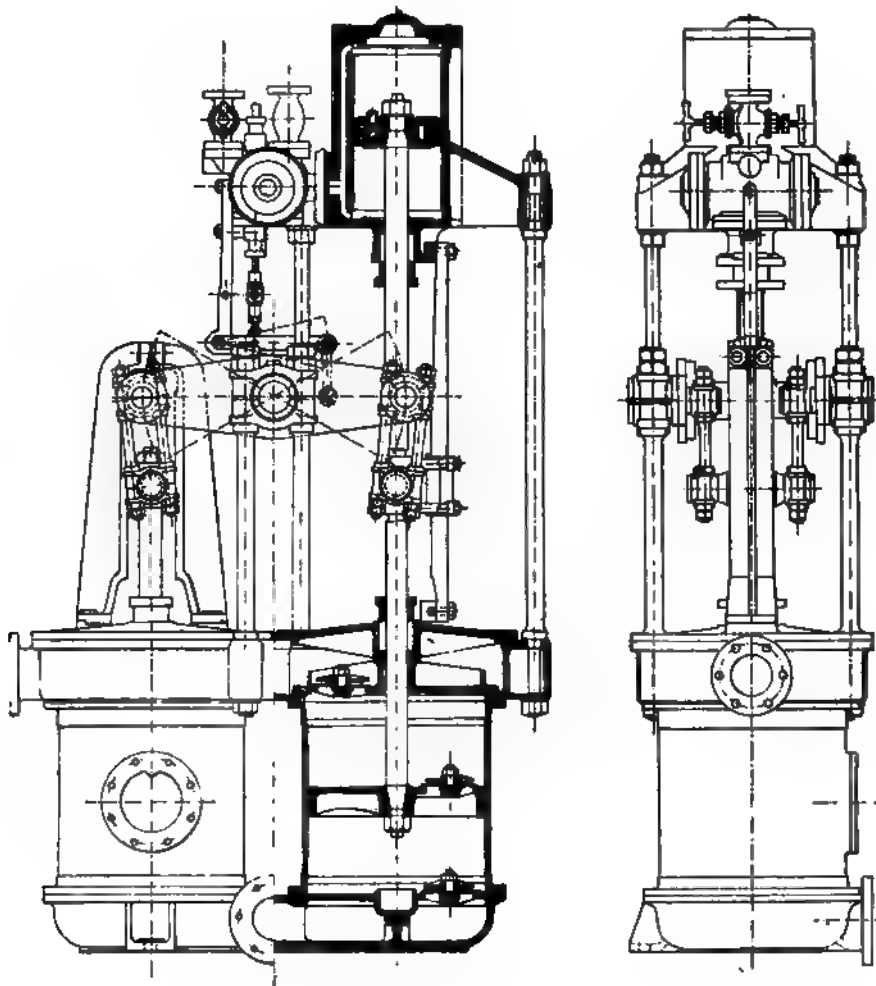
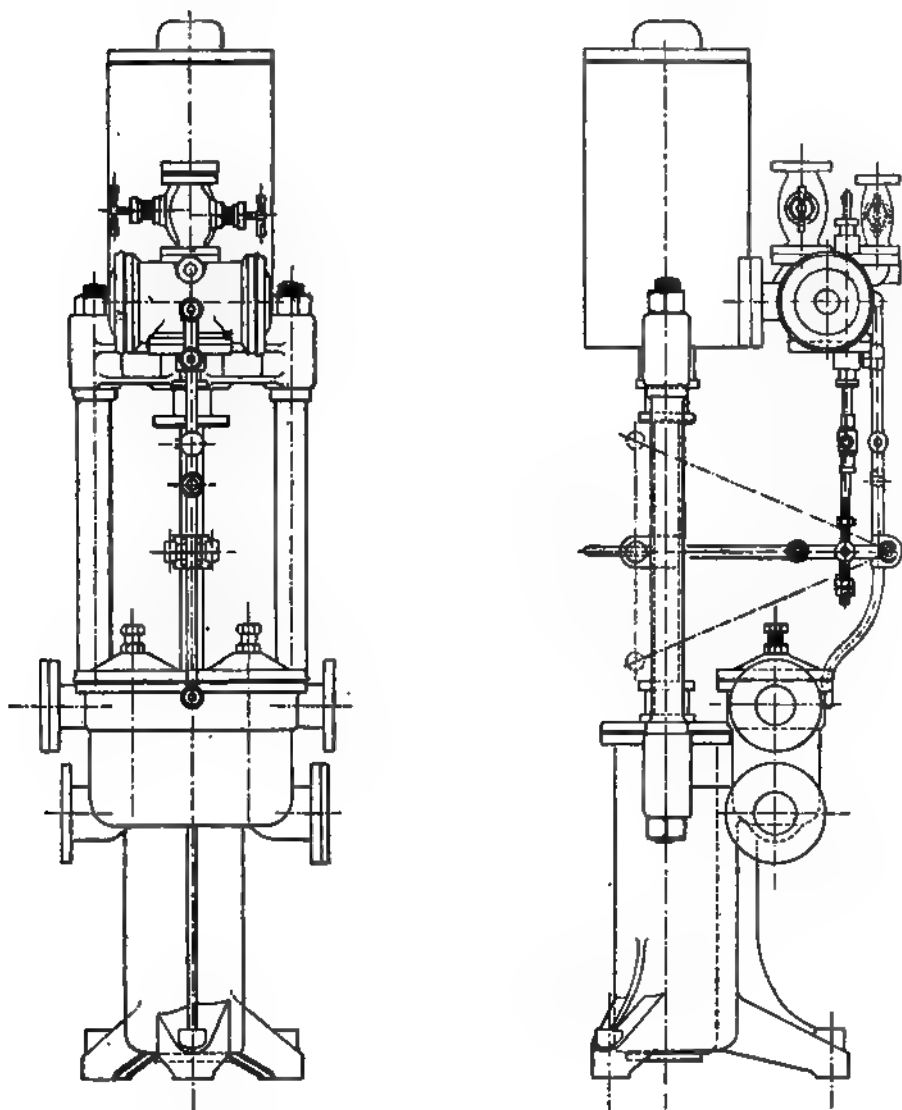


Fig. 4. — Pompe alimentaire à allure lente, système Weir.



distributeurs à tiroirs en D, soit dans la turbine HP, soit dans les turbines BP de marche avant, soit dans les turbines de marche arrière.

Avant d'arriver à l'appareil de manœuvre, la vapeur traverse un séparateur d'eau, qui la sèche autant que possible avant son entrée dans les turbines.

Un dispositif spécial permet, en cas de nécessité, l'évacuation directe et silencieuse de la vapeur en trop au condenseur, au lieu de la laisser échapper par les soupapes.

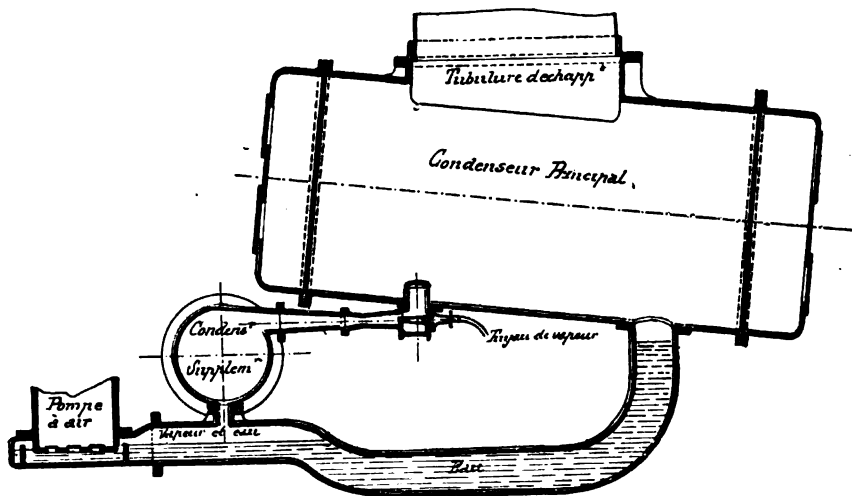
Une prise de vapeur spéciale (by pass), montée sur le dessus de la turbine HP, permet d'envoyer dans cette turbine, à peu près au milieu de sa longueur, de la vapeur vive pour relever la pression sur la fin du parcours HP, et à l'admission dans les turbines BP, de manière à augmenter la puissance développée. Toutefois l'usage de cette prise de vapeur ne doit être qu'exceptionnel, car la vapeur se trouvant, par suite de son intervention, moins détendue à la sortie des turbines BP, il y a forcément accroissement de la consommation, et réduction de l'économie.

L'augmentation du nombre de tours, en permettant d'autre part l'afflux plus considérable de vapeur, vient encore accroître cet effet.

La figure 5 donne la disposition de la chambre des machines du *London-derry*. Celle du *Manxman* est à très peu près la même.

Les condenseurs, de section circulaire, en tôle d'acier étamée et rivée, ont les plaques tubulaires en laiton, mais les coquilles et portes de visite sont en fonte.

Fig. 6. — Vacuum augmenter Parsons.



Ils sont disposés parallèlement aux turbines BP, avec lesquelles ils communiquent par des tubulures de grande section, et placés vers l'extérieur du navire. Chacun d'eux est muni intérieurement de trois écrans répartissant la vapeur sur les tubes.

Ils sont également munis du *vacuum augmenter* de Parsons indiqué sur la figure 6. Cet appareil consiste en un petit éjecteur à vapeur placé au-dessous du condenseur, avec lequel il communique par une prise d'air, disposée de manière à prendre le moins d'eau possible avec l'air, et évacuant dans un réservoir cylindrique additionnel, en communication, à l'aide d'une tubulure, avec un point haut de la conduite d'aspiration des pompes à air, placé, autant que possible, dans le voisinage de ces pompes. La dépense de vapeur serait de 1,5 pour 100 de celle de la consommation à toute puissance.

Cette disposition suppose que la tubulure de prise d'air de l'éjecteur n'aspire qu'exceptionnellement de l'eau, le condenseur étant incliné à cet effet; mais, dans les coups de tangage et même dans les coups de roulis, l'éjecteur aspire constamment une forte proportion d'eau, et son efficacité doit être réduite d'autant. D'ailleurs la disposition des pompes à air sec et à air humide de Weir, employées concurremment sur le *Londonderry* et le *Manxman*, paraît suffisante pour assurer un bon vide, si précieux aux turbines. Cette disposition sera décrite plus loin.

Les turbines pèsent 139 tonnes sur le *Londonderry* et 160 tonnes sur le *Manxman*.

Machinerie auxiliaire des turbines. — Les pompes à air, pompes alimentaires, pompes de cale et d'épuisement, etc., sont à peu près les mêmes que pour les machines alternatives.

Toutefois l'évacuation du condenseur présente des dispositions spéciales, les pompes à air ordinaires étant complétées par des pompes à air sec, disposées en tandem au-dessus des cylindres à vapeur des moteurs des pompes de circulation.

Les pompes à air humide (pompes à air ordinaires) sont installées, pour les raisons indiquées plus haut, dans le voisinage des condenseurs.

Quant aux pompes à air sec, destinées à séparer l'air de l'eau à la sortie des pompes à air humide, elles se composent d'un cylindre de 0^m,508 de diamètre, dont le piston est mû par le prolongement de la tige du piston à vapeur de la machine de circulation. La course de ce piston est naturellement la même que celle de cette machine, soit, en l'espèce, 228^{mm},5. L'air extrait de la partie supérieure des pompes à air humide est envoyé à la décharge accidentelle de ces pompes.

Comme pour les machines alternatives, les deux pompes à air humide envoient l'eau extraite du condenseur à des bâches à flotteur automatique système Weir, qu'un tuyautage spécial permet de vider au condenseur en cas d'arrêt des turbines, sans qu'il puisse y avoir retour de l'eau du condenseur à la bache.

Un réchauffeur d'alimentation est disposé sur le parcours de l'eau se rendant aux pompes alimentaires doubles, qui sont au nombre de deux, chacune

d'elles pouvant suffire à l'alimentation des chaudières pour la marche en pleine vitesse (voir *fig. 5*).

Ces pompes peuvent d'ailleurs, au moyen de combinaisons de tuyautage, servir à vider les chaudières, et aussi à y assurer la circulation de l'eau pendant qu'elles sont sous pression.

Un filtre, disposé sur le tuyautage de refoulement aux chaudières, débarrasse l'eau de l'huile que peut contenir l'eau de condensation des machines auxiliaires, la seule qui puisse en contenir.

Deux pompes centrifuges commandées par des machines à pilon monocylindriques assurent la circulation de l'eau dans les condenseurs; leur échappement peut être dirigé soit sur le réchauffeur d'alimentation, soit sur le condenseur, soit sur le tuyau d'échappement à l'air libre.

Ce système de pompe de cale permet d'épuiser l'eau d'un compartiment quelconque des cales, ou de prendre l'eau à la mer pour le service de lavage ou d'incendie.

Enfin deux pompes à huile assurent le graissage sous pression des paliers de turbines et d'arbres. Elles sont installées sur la cloison arrière de la chambre des machines.

Ainsi qu'on peut le voir en comparant les figures 2 et 5, il reste dans la chambre des turbines beaucoup plus de place que dans la chambre des machines alternatives, et la surveillance y est d'autant plus facile, que seuls les appareils auxiliaires ont besoin de soin pendant la marche.

Il faut cependant ajouter que l'emplacement des groupes électrogènes, qui ont été reportés dans le compartiment des arbres, à tribord et à bâbord, augmente l'espace disponible dans la chambre des machines. Cette disposition n'a d'ailleurs été rendue possible, que par le peu de place qu'exigent ces groupes électrogènes mus par turbines Parsons.

Les dispositions prises pour les tuyautages permettent de parer aux avaries toujours possibles, et de remplacer une pompe par une autre, de manière à ne pas gêner sérieusement le service. Celui-ci ne pourrait être paralysé que par une avarie importante.

Le poids de la machinerie complète est de 575 tonnes sur le *Londonderry*, et 645 tonnes sur le *Manxman*.

Lignes d'arbres. — Les lignes d'arbres des quatre paquebots sont en acier forgé; mais, tandis que les arbres ont 0^m,305 de diamètre pour les machines alternatives, ils n'ont que 0^m,203 pour les turbines. C'est un gain de poids de plus de 50 pour 100.

Les lignes d'arbres sont supportées, entre la cloison arrière de la chambre des machines et le tube de sortie, par un certain nombre de paliers. Ceux-ci sont, pour les turbines, à graissage sous pression et à circulation d'eau.

Les arbres porte-hélices n'ont, pour le *Londonderry*, que 0^m,175 de diamètre pour l'arbre central, et 0^m,181 pour les arbres latéraux. Ils sont plus

légers que ceux du *Donegal* et de l'*Antrim*, qui ont à porter des hélices plus lourdes, et dont les réactions sont plus violentes.

Le système de sortie des arbres de la coque est du type usité ordinairement, et les dispositions employées sont à peu près les mêmes sur les quatre paquebots.

Propulseurs. — Les propulseurs de l'*Antrim* et du *Donegal* sont en bronze, à trois ailes; mais, tandis que ceux du *Donegal* sont en une seule pièce, ceux de l'*Antrim* sont à ailes rapportées.

Les propulseurs de l'*Antrim* sont aussi légèrement plus petits que ceux du *Donegal*, mais ont un pas plus grand.

Le diamètre des hélices du *Donegal* est de 3^m,352, et leur pas est de 4^m,085, ce qui correspond à un rapport $\frac{P}{D} = 1,218$.

Les hélices des paquebots à turbines, qui tournent plus vite, ont un diamètre sensiblement moindre.

Celles du *Londonderry* ont 1^m,524 de diamètre, et 1^m,372 de pas, ce qui correspond à un rapport $\frac{P}{D} = 0,899$. Les trois hélices sont semblables, elles sont en bronze, à trois ailes d'une seule pièce.

Au contraire, sur le *Manxman*, l'hélice centrale a un plus grand diamètre, et un plus grand pas que les hélices latérales. Ces hélices en bronze, à quatre ailes, sont d'une seule pièce.

L'hélice centrale a un diamètre de 1^m,880, et un pas de 1^m,702, ce qui correspond à un rapport $\frac{P}{D} = 0,905$. Les hélices latérales ont un diamètre de 1^m,702, et un pas de 1^m,524, ce qui correspond à un rapport $\frac{P}{D} = 0,895$.

Pour toutes les hélices actionnées par turbines, le rapport de la surface projetée des ailes à la section du cylindre d'eau actionné est d'environ 0,55.

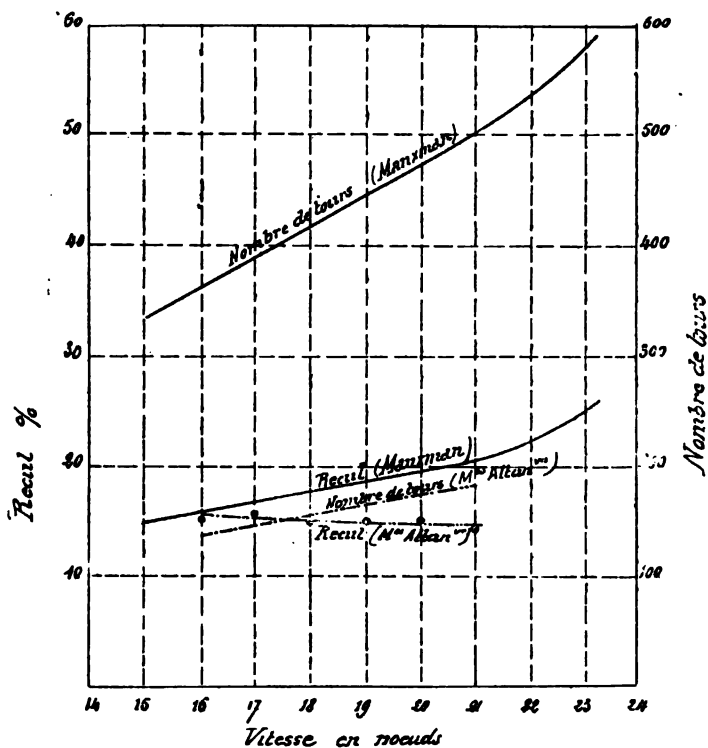
La surface propulsive, malgré ce rapport, est encore légèrement plus forte pour l'*Antrim* et le *Donegal* que sur le *Manxman*, mais elle l'est de plus de 35 pour 100 par rapport au *Londonderry*.

Les résultats comparatifs, au point de vue du nombre de tours et du recul, donnés par les propulseurs du *Donegal* et du *Manxman*, sont indiqués au tableau ci-après et au graphique (fig. 7).

TABLEAU III.

Vitesses réalisées.	Machines alternatives		Turbines	
	Donegal.		Manxman.	
	Nombre de tours.	Recul. pour 100	Nombre de tours.	Recul. pour 100
16 nœuds	138	15	360	15,8
17 »	144	16	392	16,9
18 »	154	14,5	420	17,7
19 »	164	14,9	448	18,8
20 »	174	15	477	19,8
21 »	181	13,4	505	21
22 »			538	22,1
23 »			583	24,2

Fig. 7. — Comparaison des nombres de tours et des reculs des turbines et des machines alternatives.



On remarquera que pour les machines alternatives le recul est à peu près constant, à part les variations inévitables, et paraîtrait même décroître

légèrement de 16 à 21 nœuds, le nombre de tours ne variant d'ailleurs que de 31,15 pour 100.

Il n'en est pas de même avec les hélices commandées par turbines, le nombre de tours variant beaucoup plus avec la vitesse, puisqu'il s'accroît, de 16 à 21 nœuds, de 40,28 pour 100.

Le recul paraît augmenter à très peu près proportionnellement à la vitesse jusqu'à 22 nœuds; mais il se relève brusquement de 22 à 23 nœuds. L'augmentation du recul entre 22 et 23 nœuds n'est pas moindre de 95 pour 100.

Si la vitesse de 23 nœuds avait dû être conservée en service, il y aurait donc probablement eu intérêt à remplacer les hélices, qui paraissent avoir été étudiées pour une vitesse maxima de 21 nœuds, qui est d'ailleurs supérieure à la vitesse de service. Au-dessus de cette vitesse, il est très probable que la pression sur l'aile est voisine de celle, pour laquelle commencent à se manifester les phénomènes de cavitation. L'augmentation brusque du nombre de tours semblerait confirmer cette hypothèse. Les variations du nombre de tours et du recul entre 22 et 23 nœuds se voient très bien sur le graphique.

DEUXIÈME PARTIE.

RÉSULTATS DES ESSAIS.

Programme des essais. Essais de réception. — Le programme des essais de réception des paquebots était très limité, puisque le marché stipulait simplement un parcours sur base mesurée, avec deux chaudières double ended allumées, et 300 tonnes de charge à bord, pour s'assurer que les paquebots atteignaient bien la vitesse stipulée de 20 nœuds, puis un essai de 6 heures dans les mêmes conditions, pour déterminer s'ils pouvaient soutenir cette vitesse sur base pendant cette période, et déterminer en même temps leurs conditions de fonctionnement, bien que le contrat fût muet au sujet des consommations de combustible et de vapeur.

Essais en service. — Ces deux essais étaient évidemment trop courts pour qu'on pût se faire une idée exacte des mérites et des désavantages respectifs des machines alternatives et des turbines; aussi, la Compagnie du *Midland Railway* chargea-t-elle, après un certain temps de service des paquebots, MM. Biles et Gray de dépouiller leurs livres de bord, afin d'arriver à déterminer aussi exactement que possible la consommation d'eau et de combustible pour des vitesses données.

Les résultats de ce dépouillement ont fait, à la fin de l'année dernière, l'objet d'une communication de M. W. Gray à l'Institution des Naval Architects. Malheureusement, cette communication, très brève, ne donne que des chiffres globaux, chiffres dont les variations montrent l'influence de causes extérieures. Il est donc nécessaire, pour en tirer des conclusions, sinon fermes, du moins très près de l'exactitude, de les analyser avec soin, en s'entourant le plus possible de renseignements sur les conditions extérieures du service pendant les périodes considérées. Cette analyse fera l'objet de la troisième partie de ce travail. Dans la seconde, nous nous bornerons à donner, sans les discuter, d'abord les résultats des essais de réception, puis les chiffres relevés en service, qui, en raison de la longueur des périodes, seront groupés d'une façon un peu différente de celle employée par M. W. Gray.

A. — Essais de réception.

Vitesses réalisées. — Les parcours sur base exécutés dans les conditions du contrat, ou avec trois chaudières allumées, et les essais de 6 heures, ont donné les résultats suivants au point de vue de la vitesse, objet principal de ces essais :

TABLEAU IV.

	Machines alternatives	Turbines	
	Antrim.	Londonderry.	Manzman.
Essais sur base :			
Avec 2 chaudières double ended allumées.....	21 ⁿ	21,9 ⁿ	23 ⁿ
Avec 2 chaudières double ended et 1 simple ended.	21,9	22,27	23,141
Essais de 6 heures :			
Avec 2 chaudières double ended allumées.....	20,6	21,6	22,65

Conditions de marche. — Voici, d'autre part, les conditions de marche des paquebots à turbines *Londonderry* et *Manzman*, pendant les essais sur base avec 3 chaudières allumées :

TABLEAU V.

	<i>Londonderry.</i>	<i>Manzman.</i>
Pression aux chaudières.....	10 ^{kg} , 546	14 ^{kg} , 062
Pression à l'entrée de la turbine HP.....	9 ^{kg} , 491	12 ^{kg} , 655
Pression à l'entrée des turbines BP.....	6 ^{kg} , 843	1 ^{kg} , 336
Vide au condenseur.....	0,711	0,736
Nombre de tours de l'arbre central (turbine HP).....	670 ^t	530 ^t
Nombre de tours des arbres latéraux (turbines BP)...	750 ^t	610 ^t
Vitesse réalisée.....	22 ⁿ , 27	23 ⁿ

Pendant les essais de 6 heures avec deux chaudières double ended en feu, les conditions de marche du *Manxman* ont été les suivantes :

Nombre de tours de la turbine HP.....	520'
Nombre de tours des turbines BP.....	590'
Vide au condenseur tribord.....	0,722
Vide au condenseur bâbord.....	0,727
Vitesse moyenne réalisée.....	22",65

Enfin, la vitesse maxima du *Manxman* (23",141) a été obtenue avec deux chaudières double ended et une simple ended allumées, dans les conditions suivantes :

Pression aux chaudières.....	13 ^k ,499
Pression à l'entrée de la turbine HP.....	12 ^k ,650
Pression à l'entrée de la turbine BP tribord.....	1 ^k ,406
Pression à l'entrée de la turbine BP bâbord.....	1 ^k ,406
Vide au condenseur tribord.....	0,722
Vide au condenseur bâbord.....	0,718
Nombre de tours de la turbine HP (arbre central).....	533
Nombre de tours des turbines BP (arbres latéraux).....	609
Température de l'eau d'alimentation.....	82"
Pression d'air aux chaufferies.....	38 ^{mm} ,1
Vitesse réalisé.....	23",141

Dans les deux derniers essais, dont il est question pour le *Manxman*, le vide a toujours été excellent, et a atteint à certains moments 0,736¹, ce qui a beaucoup contribué aux bons résultats obtenus, les turbines utilisant le vide beaucoup mieux que les machines alternatives, sur les pistons desquelles il y a toujours une contre-pression très appréciable.

Comparaison des vitesses réalisées. — Si l'on chiffre les résultats des essais tant sur base que pendant 6 heures, dans les mêmes conditions, et en prenant pour base de comparaison la vitesse de l'*Antrim*, on arrive aux résultats suivants :

TABLEAU VI.

	Londonderry.		Manxman.	
	Bénéfice de vitesse.		Bénéfice de vitesse.	
	Absolu.	Pour 100.	Absolu.	Pour 100.
<i>Essais sur base :</i>				
Avec deux chaudières double ended seul.	+0",90	+4,3 pour 100	+2",00	+9,55 pour 100
Avec trois chaudières.	+0",37	+1,7	+1",241	+5,92
<i>Essais de 6 heures :</i>				
Avec deux chaudières seulement.....	+1"	+1,85	+2",05	+9,98

Au premier examen, les paquebots à turbines ont donc eu, aux essais de réception, un avantage marqué au point de vue de la vitesse sur ceux munis de machines alternatives, les conditions de chauffe étant les mêmes dans les deux cas; mais la détermination exacte de l'utilisation, en tenant compte des différences diverses entre les navires, est plus compliquée, ainsi qu'on le verra plus loin.

B. — Essais en service.

Outre les essais de réception dont il vient d'être question, les quatre paquebots furent soumis à des essais progressifs, pour déterminer la consommation de vapeur de chacun d'eux à différentes vitesses, et, ultérieurement, MM. Biles et Gray dépouillèrent leurs livres de bord pour la période allant du 1^{er} septembre 1904 au 24 juin 1905, pour déterminer, dans les conditions mêmes du service, leur consommation de combustible et la vitesse correspondante.

Consommation d'eau. — Pendant les essais progressifs, la consommation d'eau (ou de vapeur) fut évaluée à l'aide du nombre de coups de piston des pompes alimentaires à allure lente, dont le rendement avait, au préalable, été déterminé.

Les consommations trouvées furent les suivantes :

TABLEAU VII.

Vitesses.	<i>Antrim</i>		
	<i>Donegal.</i>	<i>Londonderry.</i>	<i>Manxman.</i>
14 nœuds	20443,5 ^k	20443,5 ^k	20443,5 ^k
17 "	30438,1	27712,3	26349,4
20 "	44667,1	40432,7	38707,0
22 "	"	61784,8	56787,5
23 "	"	"	78602,0

Ces consommations sont également représentées au graphique (*fig. 8*), qui permet de voir l'allure générale des courbes de consommation. Celles du *Londonderry* et du *Manxman* sont de même nature, mais celle de l'*Antrim* et du *Donegal* est sensiblement plus tendue et monte plus rapidement.

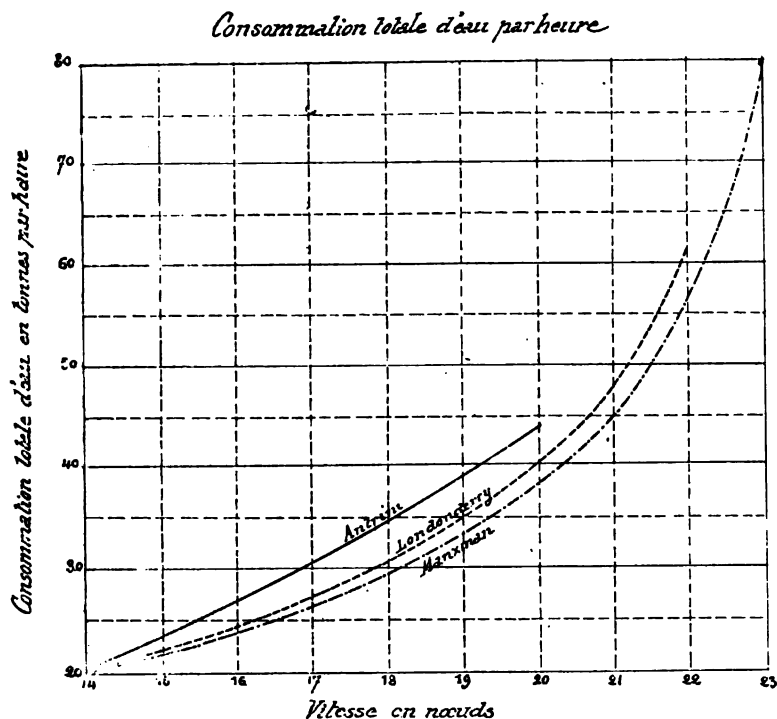
Ce tableau et le graphique permettent donc bien de comparer les consommations brutes par heure non seulement des machines alternatives et des turbines, mais encore des deux paquebots à turbines entre eux.

Cependant, il faut remarquer que ce sont là des chiffres bruts, et qu'ils changent de valeur, si, au lieu de considérer seulement la consommation totale, on rapporte celle-ci au travail réel effectué par les appareils moteurs et propulseurs, pour communiquer aux différentes carènes les vitesses considérées.

Cette comparaison, plus exacte que celle résultant des chiffres bruts de consommation, sera donnée dans la troisième partie de ce travail.

Quant aux déterminations qui ont eu lieu ultérieurement, en service courant, d'après les livres de bord, il faut remarquer que, dans le mémoire de

Fig. 8.



M. W. Gray, les chiffres relevés pendant la période allant du 1^{er} septembre 1904 au 24 juin 1905 sont totalisés, ce qui rend les comparaisons bien aléatoires, en raison des variations considérables qui se sont produites pendant cette période totale dans les conditions climatiques.

Aussi, pour plus d'exactitude, et tout en considérant les chiffres donnés par M. Gray comme absolument exacts et dignes de foi, avons-nous légèrement modifié la forme du tableau, et l'avons-nous complété en indiquant certains chiffres intéressants, implicitement compris dans ceux fournis par M. Gray, mais qui n'étaient pas mis en lumière.

De plus, pour éliminer autant que possible les influences climatiques, avons-nous divisé la période totale d'observation en trois périodes correspondant aux services successifs du *Londonderry* et du *Manxman*.

Le *Londonderry* ayant été immobilisé pendant trois mois, par suite d'une avarie à la turbine à partir du 1^{er} novembre 1904, a été remplacé pendant cette période par le *Manxman*.

Cette division en trois périodes, correspondant au service des deux paquebots à turbines, a eu en outre l'avantage de réduire l'influence des conditions climatiques, bien que ces dernières jouent encore un rôle considérable, qui explique certains chiffres assez surprenants au premier abord.

Nous avons donc considéré les trois périodes suivantes :

1° 1^{er} septembre-1^{er} novembre 1904. Comparaison du *Donegal* et de l'*Antrim* avec le *Londonderry*;

2° 1^{er} décembre 1904-25 mars 1905. Comparaison du *Donegal* et de l'*Antrim* avec le *Manxman*;

3° 31 mars-24 juin 1905. Comparaison du *Donegal* et de l'*Antrim* avec le *Londonderry*.

Les trois tableaux correspondant à une période donnent, outre les chiffres de M. Gray, la proportion des heures sous pression et des heures en vitesse dans le total des heures de service, ainsi que les durées des traversées en vitesse, et la comparaison de ces durées pour les machines alternatives avec celles correspondant aux turbines.

Enfin, au-dessous de chaque tableau, nous avons fait figurer le résumé des résultats obtenus pendant la période considérée, et la comparaison aussi exacte que possible des consommations de combustible, en tenant compte et de la proportion des heures sous pression et en vitesse, et du travail réellement exécuté par les moteurs, représenté par la résistance de la carène à la vitesse correspondant à la durée moyenne de la traversée en vitesse.

Quant à la vitesse moyenne de traversée, elle a été prise égale au quotient de la longueur de la traversée (122 milles marins) par la durée moyenne de la traversée.

D'autre part, la consommation de combustible pendant les heures sous pression a été évaluée d'après les données recueillies dans un service analogue.

Elle a été évaluée à 55^{kg} par mètre carré de grille et par heure, ce qui est très voisin de la vérité.

En la déduisant de la consommation totale, et en divisant la différence par le nombre d'heures en vitesse, on a donc la consommation de combustible par heure avec une approximation suffisante.

Le rapport de la résistance de la carène à cette consommation donne donc un coefficient, qui représente assez exactement la valeur de l'utilisation des moteurs et propulseurs.

TABEAU IX. — COMPARAISON DES RÉSULTATS EN SERVICE.
 Période du 1^{er} décembre 1904 au 25 mars 1905. — *Antrim* et *Donegal* (machines alternatives), *Manzman* (turbines).

PÉRIODES.		MACHINES ALTERNATIVES.		TUBINES (<i>Manzman</i>).		COMPARAISON DES TRAVERSÉES.		OBSERVATIONS.					
Dates.	Nombre de traversées	Heures de service	Combustible brûlé.	Heures de service	Combustible brûlé.	Total	Différence par rapport aux machines alternatives						
		sous pression	en vitesse	Pour 100	sous pression.	en vitesse	Pour 100	Absolue.					
		Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre						
		h	h	h	h	h	h						
1-15 déc. 1904.	13	91,3	53,7	78,5	46,3	169,8	84,1	53	74,1	47	158,2	-0,68 - 10,62	
16-21 déc.	5	34	51,6	32,1	48,4	66,1	39,1	62,5	23,5	37,5	62,6	-0,72 - 11,2	
29 déc. 10 janv. 1905	11	73,1	52	67,0	48	140,1	73,3	54	62,5	46,0	135,8	-0,41 - 6,7	
25-8 février	13	89,8	54,1	76,0	45,9	165,8	93,1	60,8	59,6	39,2	151,7	-1,26 - 21,5	
9-23 février	13	89	55,2	72,1	44,8	161,1	83,4	53,2	73,5	46,8	157,3	-0,11 - 1,9	
11-25 mars	13	86,8	53	77,2	47,0	161,0	86,2	55	70,7	45,0	156,9	-0,51 - 8,57	
	68	164,0	53,4	402,9	46,6	860,0	173,3	338,6	363,9	44,4	822,5	-0,37 - 9,62	
		MACHINES ALTERNATIVES.		TUBINES.									
Consommation brute de combustible par traversée		C_t		$39^s,24$									
Nombre d'heures sous pression		n_p		$6^s,82$									
Consommation de combustible correspondant aux heures sous pression		$C_p n_p$		$13^s,94$									
Nombre d'heures en vitesse		n_v		$5^s,92$									
Consommation de combustible correspondant aux heures en vitesse		$C_v = \frac{C_t - C_p n_p}{n_v}$		$25^s,30$									
» » par heure de vitesse		C_v		$4^s,29$									
Vitesse moyenne réalisée		v		$20^s,59$									
Résistance correspondante de la carène		R_v		38000									
Coefficient de comparaison		$\frac{R_v}{C_v}$		8057									

Notes. — Les fractions d'heure sont comptées en quarts de minutes. — La consommation sous pression est estimée à 33% par mètre carré de grille en feu et par degré.

Notes. — Les fractions d'heure sont comptées en quarts décimales. — La consommation sous pression est évaluée à 133 g par mètre carré de grille en feu et par heure.

TABLEAU A. — COMPARAISON DES RÉSULTATS EN SERVICE.
 Période du 31 mars au 24 juin 1901. — *Antrim* et *Donegal* (machines alternatives), *Londonderry* (turbines).

PÉRIODES.		MACHINES ALTERNATIVES.						TURBINES (<i>Londonderry</i>).				COMPARAISON DES TRAVÉES.		OBSERVATIONS.	
Dates.	Nombre de traversées.	Nom du paquebot.	Combustible brûlé.	Heures de service				Heures de service				Différence par rapport aux machines alternatives			
				Nombre	Pour 100.	Nombre	Pour 100.	Nombre	Pour 100.	Nombre	Pour 100.	Absolue.	Pour 100.		
31 mars-10 avr. 1901	6	<i>Antrim</i>	351,1	58,0	51,5	47,5	110,5	61,0	51,3	51,3	45,7	u	-0,51		
16 avr.-10 mai	13	<i>Donegal</i>	550,8	89,3	53,3	78,4	167,6	84,0	53,7	72,4	66,3	-0,47	-7,8		
11-13 mai	12	<i>Antrim</i>	480,1	74,5	51,2	68,2	142,7	77,4	53,3	67,3	66,7	-0,06	-0,05		
10-24 juin	13	<i>Donegal</i>	465,1	87,1	52,6	78,5	165,6	82,9	47,2	72,0	53,8	-0,42	-6,96		
	67		1837,1	308,8	52,6	277,6	586,4	306,8	53,6	465,0	66,4	-0,27	-4,57		

		MACHINES ALTERNATIVES	TURBINES.
Consommation brute de combustible par traversée.....	C_t		39', 52
Nombre d'heures sous pression.....	n_p		6 ^h , 52
Consommation de combustible correspondant aux heures sous pression.....	$c_p n_p$		13', 33
Nombre d'heures en vitesse.....	n_v		5 ^h , 63
Consommation de combustible correspondant aux heures en vitesse.....	$C_v = \frac{C_t - c_p n_p}{n_v}$		26', 51
» par heure de vitesse.....	$c_v = \frac{C_t - c_p n_p}{n_v}$		4', 70
Vitesse moyenne réalisée.....	v		21 ^m , 66
Resistance correspondante de la carène.....	R_v		44 500
Coefficient de comparaison.....	$\frac{R_v}{C_v}$		9400

Ces trois tableaux déduits des chiffres donnés par M. W. Gray dans son mémoire appellent quelques observations, qui seront faites plus loin (3^e Partie).

Ils peuvent, en y ajoutant les données indiquées sur divers tableaux, se résumer comme suit :

TABLEAU XI. — *Résultats comparatifs du Donegal et de l'Antrim à machines alternatives, et du Londonderry à turbines.*

	<i>Antrim. Donegal. Machines alternatives.</i>	<i>Londonderry. Turbines.</i>
Nombre total de traversées.....	90	90
Parcours pendant ces traversées.....	10 980 ^{m. mar.}	10 980 ^{m. mar.}
Vitesse moyenne réalisée.....	20 ⁿ , 52	20 ⁿ , 99
Déplacement des paquebots.....	2600 ^{ts}	2400 ^{ts}
Résistance de la carène, à la vitesse réalisée.....	R = 38 000	R ₁ = 39 500
Rapport des résistances.....	R = 0,962 R ₁	R ₁ = 1,049 R
Pressions de régime.....	P = 14 ^{kg} , 06	P ₁ = 10 ^{kg} , 64
Rapport des pressions de régime.....	P = 1,333 P ₁	P ₁ = 0,749 P
Combustible total brûlé.....	3267 ^t , 2	3297 ^t , 7
Nombre total d'heures sous pression.....	360 ^h , 4	351 ^h , 7
Combustible brûlé pendant les heures sous pression.....	736 ^t , 06	718 ^t , 875
Nombre total d'heures en vitesse.....	535 ^h , 1	522 ^h , 9
Combustible brûlé pendant les heures en vitesse....	2530 ^t , 54	2578 ^t , 83
Combustible brûlé par heure de vitesse.....	C _v = 4 ^t , 74	C' _v = 4 ^t , 93
Coefficients de comparaison.....	8000	8000
Rapport des coefficients de comparaison.....		

TABLEAU XII. — *Résultats comparatifs du Donegal et de l'Antrim à machines alternatives, et du Manxman à turbines.*

	<i>Antrim. Donegal. Machines alternatives.</i>	<i>Manxman. Turbines.</i>
Nombre total de traversées.....	68	68
Parcours pendant ces traversées.....	8296 ^{m. mar.}	8296 ^{m. mar.}
Vitesse moyenne réalisée.....	20 ⁿ , 59	22 ⁿ , 77
Déplacement des paquebots.....	2600 ^{ts}	2489 ^{ts}
Résistance de la carène, à la vitesse réalisée.....	R = 38 000	R ₁ = 47 400
Rapport des résistances.....	R = 0,802 R ₁	R ₁ = 1,24 R
Pression de régime.....	14 ^{kg} , 06	14 ^{kg} , 06
Combustible total brûlé.....	2669 ^t , 0	2732 ^t , 3
Nombre d'heures sous pression.....	464 ^h	458 ^h , 6
Combustible brûlé pendant les heures sous pression.....	948 ^t , 41	937 ^t , 38
Nombre d'heures en vitesse.....	402 ^h , 9	363 ^h , 9
Combustible brûlé pendant les heures en vitesse....	1720 ^t , 59	1794 ^t , 52
Combustible brûlé par heure de vitesse.....	4 ^t , 27	3 ^t , 91
Coefficients de comparaison.....	8899	12 120
Rapport des coefficients de comparaison.....		1,36

Enfin, si l'on compare les quatre paquebots séparément les uns aux autres, on arrive aux résultats suivants :

TABLEAU XIII.

	<i>Antrim.</i>	<i>Donegal.</i>	<i>Londonderry.</i>	<i>Manzman.</i>
Nombre de traversées	77	81	90	68
Durée de la traversée	5 ^h , 79	6 ^h , 07	5 ^h , 81	5 ^h , 35
Vitesse moyenne réalisée.....	21 ⁿ , 05	20 ⁿ , 08	20 ⁿ , 99	22 ⁿ , 77
Résistance de la carène.....	42 800	37 300	39 500	47 400
Total du combustible brûlé.....	2873 ^l , 3	3534 ^l , 9	3297 ^l , 7	2732 ^l
Total du combustible brûlé par traversée	37 ^l , 1	43 ^l , 63	36 ^l , 64	40 ^l , 17
Nombre d'heures sous pression	367 ^h , 0	457 ^h , 4	351 ^h , 7	458 ^h , 6
Combustible brûlé pendant les heures sous pression.	750 ^l , 15	934 ^l , 92	718 ^l , 87	937 ^l , 37
Nombre d'heures en vitesse	446 ^h , 1	491 ^h , 9	522 ^h , 9	363 ^h , 9
Combustible brûlé pendant les heures de vitesse....	2123 ^l , 2	2600 ^l , 0	2579 ^l	1794 ^l , 7
Combustible brûlé par heure de vitesse	4 ^l , 75	5 ^l , 27	4 ^l , 89	4 ^l , 93
Coefficients de comparaison.....	9000	7070	8077	9600

D'autre part, M. Gray, dans un mémoire, donne un tableau montrant les résultats obtenus par les paquebots naviguant simultanément, mais en sens inverse.

Ce tableau donne le nombre de parcours, le tonnage de combustible brûlé par traversée et la vitesse réalisée.

L'indication du tonnage de combustible brûlé par traversée est insuffisante pour se faire une idée de la consommation réelle en marche, en raison des variations de vitesse au départ et à l'arrivée. Ce n'est qu'un renseignement économique et commercial.

De plus, la marche des paquebots en sens inverse implique des conditions de marées et de courants, qui varient sensiblement d'un jour à l'autre, de même que les conditions climatiques. Même en considérant un nombre pair de traversées, les conditions de marche ne seront jamais les mêmes, et les conclusions qu'on peut tirer de ces renseignements, qui d'ailleurs ne portent que sur un nombre très limité de voyages, ne peuvent avoir qu'une valeur très limitée.

Nous reproduisons néanmoins le tableau donné par M. Gray :

TABLEAU XIV.

	Machines alternatives. Turbines.	
	<i>Antrim.</i>	<i>Londonderry.</i>
Nombre de voyages.....	48	48
Combustible brûlé par voyage.....	36 ¹ , 17	35 ¹ , 87
Vitesse moyenne en nœuds.....	19 ⁿ , 7	19 ⁿ , 5
	<i>Donegal.</i>	<i>Londonderry.</i>
Nombre de voyages.....	42	42
Combustible brûlé par voyage.....	36 ¹ , 58	37 ¹ , 49
Vitesse moyenne en nœuds.....	19 ⁿ , 2	19 ⁿ , 8
	<i>Antrim.</i>	<i>Manxman.</i>
Nombre de voyages.....	29	29
Combustible brûlé par voyage.....	39 ¹ , 21	39 ¹ , 21
Vitesse moyenne en nœuds.....	19 ⁿ , 05	20 ⁿ , 3
	<i>Donegal.</i>	<i>Manxman.</i>
Nombre de voyages....	39	39
Combustible brûlé par voyage.....	39 ¹ , 32	40 ¹ , 84
Vitesse moyenne en nœuds.....	19 ⁿ , 3	20 ⁿ , 3

Dans tous les tableaux précédents, l'expression *heures sous pression* correspond au temps passé en manœuvres tant au départ qu'à l'arrivée, alors que le paquebot n'est pas en route libre, ni par suite en vitesse.

C'est la différence entre le temps de quai à quai et celui de feu à feu.

Les chiffres de consommation de combustible correspondent aux trois chaudières en feu pour tous les paquebots. Ils ne comprennent pas le combustible brûlé dans le port, soit pour l'allumage, soit pour toute autre cause.

TROISIÈME PARTIE.

ÉTUDE DES RÉSULTATS OBTENUS.

Si l'on étudie les résultats comparatifs obtenus, le premier qui frappe l'esprit est la très sensible réduction de poids, et par suite de déplacement, qu'a permis l'emploi des turbines comme machines motrices.

Le gain n'est pas moindre de 205 tonnes pour le *Londonderry*, et 115 tonnes pour le *Manxman*. Ces deux paquebots ont donc été de ce fait avantagés au

point de vue du travail à développer à vitesse égale, et, par suite, au point de vue des consommations.

Ce gain total de poids peut se décomposer entre les divers éléments coque, machines motrices, chaudières, arbres et propulseurs, ainsi que l'indique le tableau ci-dessous, qui donne des chiffres ronds très voisins de la vérité :

TABLEAU XV.

	<i>Antrim et Donegal.</i>		<i>Londonderry.</i>		<i>Manxman.</i>	
	Poids		Poids		Poids	
	absolus.	pour 100.	absolus.	pour 100.	absolus.	pour 100.
Poids total du navire.....	2667 ¹	1	2462 ¹	0,92	2554 ¹	0,95
Poids des chaudières et de la machinerie.	730	1	575	0,78	645	0,88
Poids des chaudières.....	460	1	391	0,85	460	1,00
Poids des machines motrices.....	210	1	139	0,66	160	0,76
Poids des arbres et propulseurs.....	60	1	25	0,42	25	0,42
Poids des machines, arbres et propulseurs.	270	1	164	0,60	185	0,68

En ajoutant pour les appareils auxiliaires, qui ont à peu près le même poids dans les trois cas, 10 tonnes aux chiffres de la dernière ligne du tableau, on arrive respectivement, pour le poids de la machinerie complète avec arbres et propulseurs, aux chiffres de 280, 174 et 195 tonnes.

Si l'on ne compare que les machines motrices, arbres et propulseurs, on voit que le bénéfice en poids est de 40 pour 100 pour le *Londonderry*, et 32 pour 100 pour le *Manxman*.

Le gain de poids sur les arbres et propulseurs est également très considérable. Le poids est à peu près le même pour le *Londonderry*. et le *Manxman*, bien que ce dernier ait des arbres légèrement plus forts, le surcroît de poids des arbres étant compensé par la plus grande légèreté des hélices et de leurs supports.

Le gain total sur le poids des navires est de 8 et 5 pour 100, ce qui représente respectivement 205 et 115 tonnes. Sur ce total, 30 tonnes environ proviennent des carlingages et renforts de coque, qui, sur les navires à turbines, n'ont pas à supporter les efforts dus aux forces d'inertie développées par les machines alternatives, et peuvent, par suite, être moins robustes. Il reste donc 175 et 85 tonnes comme bénéfice sur les chaudières et la machinerie.

Le *Londonderry* seul, d'ailleurs, bénéficie de 69 tonnes sur ses chaudières, celles-ci ne fonctionnant qu'à 10^{kg},54, au lieu de 14^{kg},06 sur l'*Antrim*, le *Donegal* et le *Manxman*. Cette forte réduction de poids pourrait avoir une certaine influence sur l'économie de fonctionnement des appareils moteurs, qui ont une puissance moindre à développer, si cette influence n'était contrebalancée par l'emploi même d'une pression moins élevée, et, par suite, moins économique. Les deux influences doivent donc à peu près se neutra-

liser, et la différence de pression et de poids ne saurait, à notre sens, modifier beaucoup les résultats.

Si l'on rapporte chacun des gains partiels réalisés sur le *Londonderry* et le *Manxman* au gain total de poids, on arrive aux chiffres suivants :

TABLEAU XVI.

	<i>Londonderry</i>		<i>Manxman</i>	
	Gain de poids		Gain de poids	
	absolu.	pour 100.	absolu.	pour 100.
Gain sur le poids du navire.....	205 ¹	»	115 ¹	»
Gain de poids sur la coque.....	30	14,7	30	26,1
» sur les chaudières.....	69	33,6	»	»
» sur les machines motrices....	71	34,7	50	43,5
» sur les arbres et propulseurs.	35	17	35	30,4
» sur toute la machinerie.....	106	52,0	85	73,6

La réduction de poids de la machinerie atteint donc 52 pour 100 du gain total pour le *Londonderry*, et 73,6 pour 100 pour le *Manxman*.

Les turbines seules représentent un bénéfice de poids de 34,7 pour 100, et 43,5 pour 100 sur la réduction totale.

Il semble donc que sur ces deux paquebots on ait été aussi loin que possible au point de vue de l'allègement des moteurs, étant donné surtout que les machines alternatives elles-mêmes sont très légères, et que le gain de poids par rapport à elles est de 34 et 24 pour 100.

Ces gains de poids sont évidemment très avantageux au point de vue de la puissance nécessaire pour donner aux navires une vitesse donnée, mais ne sont pas sans présenter, au point de vue de l'utilisation de la vapeur, certains inconvénients, qui ressortiront de l'étude des consommations.

Ils sont, en effet, liés à la réduction des dimensions des turbines, qui elle-même correspond à une augmentation du nombre de tours, toujours désavantageuse pour le rendement des propulseurs, et, par suite, pour le rendement global.

Gain de vitesse. — Au point de vue de la vitesse, les essais de réception sur base mesurée et l'essai de 6 heures ont montré que les paquebots à turbines ont été très sensiblement supérieurs aux paquebots à machines alternatives, ainsi que l'indique le tableau VI.

Il faut cependant remarquer que les résultats sont de beaucoup supérieurs pour l'essai de 6 heures avec deux chaudières seulement, ce qui semblerait montrer que les appareils moteurs ne sont pas assez développés pour utiliser dans de bonnes conditions toute la vapeur produite par les trois chaudières.

En somme, les turbines paraissent tracées, comme il est naturel, pour la vitesse d'essai imposée, 20 nœuds. Ce n'est qu'exceptionnellement, et dans des conditions médiocres, qu'elles permettent de dépasser cette vitesse.

Vitesse de rotation des propulseurs. — Il en est de même, d'ailleurs, des propulseurs, qui, aux vitesses maxima, tourneront trop vite pour avoir un bon rendement.

A la vitesse de 22ⁿ, 27, les hélices du *Londonderry* font, en effet, respectivement 670 et 750 tours (voir tableau V), ce qui correspond à des reculs de 28,8 et 49,6 pour 100. Si le premier est encore admissible, bien que fort élevé, le second montre que les hélices latérales travaillent dans des conditions très peu satisfaisantes, et, en tous cas, très voisines de celles pour lesquelles commencent à se produire les phénomènes de cavitation.

Le fonctionnement des hélices du *Manxman* à la vitesse maxima (23ⁿ, 141), tout en étant plus satisfaisant que celui des hélices du *Londonderry*, correspond à des reculs de 27 pour 100 pour l'hélice centrale, et 29,8 pour les hélices latérales. Bien qu'acceptables, ils sont encore élevés, et le relèvement brusque de la courbe des reculs entre 22 et 23 nœuds (voir graphique n° 7) montre que là encore on doit être bien près de la vitesse où commencent à se produire les phénomènes de cavitation.

Il y aurait donc certainement intérêt, au point de vue du fonctionnement des propulseurs et de leur rendement, à réduire le nombre de tours, en acceptant des turbines plus volumineuses et plus pesantes.

L'inconvénient des grandes vitesses de rotation des propulseurs, bien qu'atténué pour les vitesses comprises entre 20 et 21 nœuds, n'en existe pas moins, puisque pour le *Manxman* le nombre de tours est de 500, et le recul de 21 pour 100.

Peut-être la présence de quatre ailes pour des hélices de diamètre relativement faible (1^m, 880), tournant à grande vitesse, n'est-elle pas non plus étrangère à l'élévation du recul, en raison des interférences qui peuvent se produire par suite du rapprochement des ailes de grande surface.

Il semble donc ressortir des essais de réception, qu'au point de vue de l'utilisation des propulseurs, il y aurait intérêt à ce que le nombre de tours fût moins considérable. L'examen des résultats obtenus en service par le *Londonderry* et le *Manxmann*, qui n'ont pas retrouvé une supériorité aussi marquée qu'aux essais de réception, semblerait confirmer ces observations.

Si nous examinons en effet, d'après les chiffres de consommation d'eau donnés par M. Gray, et traduits en mesures Françaises dans le tableau VII, la question de la consommation d'eau, nous constatons que les résultats bruts sont tous en faveur des paquebots à turbines, et qu'il doit en être de même très probablement de la consommation de combustible, les appareils évaporatoires ayant les mêmes dimensions pour tous les paquebots.

Le *Londonderry* est, en ce qui concerne la consommation d'eau, d'environ

10 pour 100 plus économique que les paquebots à machines alternatives, et le *Manxman* lui est supérieur d'environ 3 pour 100 pour la vitesse de 20 nœuds, la plus élevée pour laquelle il soit possible de faire des comparaisons.

A 22 nœuds la supériorité du *Manxman* sur le *Londonderry* est de 8 pour 100.

L'économie d'eau est donc sensible, toutefois elle peut provenir de deux causes distinctes : la réduction de la puissance nécessaire pour une vitesse donnée par suite du moindre déplacement, et la meilleure utilisation de la vapeur dans les appareils moteurs.

Pour avoir une idée exacte de cette dernière utilisation, il faudrait rapporter la consommation d'eau au travail réellement développé à la vitesse considérée, c'est-à-dire à la résistance de la carène à cette vitesse.

Malheureusement cette résistance est assez difficile à calculer, car il n'existe pas, croyons-nous, de formule ou de méthode assez exacte, pour tenir compte de toutes les influences variables avec la vitesse, qui s'exercent sur les diverses résistances, qui concourent à former la résistance totale de la carène.

La méthode qui paraît le mieux tenir compte de ces diverses influences, est celle indiquée par notre éminent collègue M. Risbec, qui permet de calculer très approximativement les diverses résistances entrant dans la composition de la résistance totale.

C'est à l'aide de cette méthode que nous avons essayé de déterminer la résistance des divers paquebots à différentes vitesses, mais l'absence de certaines données, auxquelles il a fallu suppléer par déduction, ne permet pas de donner les chiffres trouvés comme absolument exacts.

De plus, aux vitesses maxima, il y a une certaine incertitude, car on se trouve bien près de la limite, à laquelle les formules ne sont pas applicables sans réserves.

Quoi qu'il en soit, les courbes approximatives de résistance tracées d'après cette méthode (voir *fig. 9*) paraissent cependant se rapprocher de la réalité, et la comparaison des résistances aux diverses vitesses avec les consommations d'eau correspondantes donne lieu à des observations intéressantes.

Si l'on divise, en effet, les consommations d'eau extraites du mémoire de M. Gray par la résistance approximative correspondante en tonnes, on aura la consommation d'eau par heure et par tonne de résistance, ce qui conduit aux chiffres ci-après :

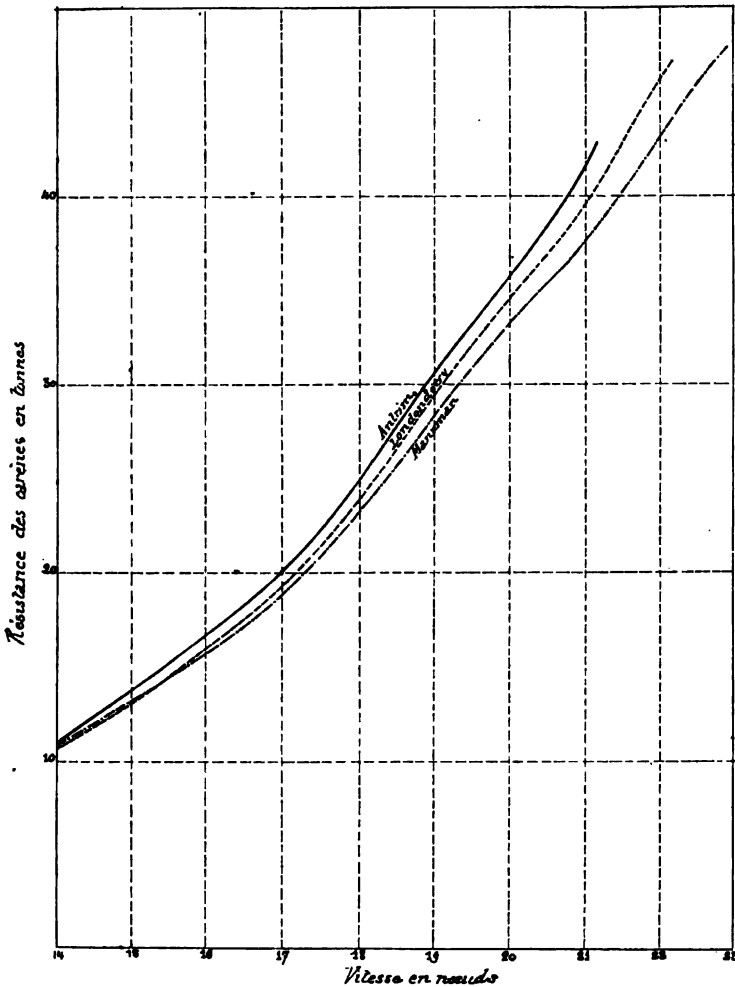
TABLEAU XVII.

	<i>Antrim</i> <i>Donegal.</i>	<i>Londonderry.</i>	<i>Manxman.</i>
Vitesse de 14 nœuds.....	1,820	1,890	1,860
» 17 »	1,521	1,421	1,400
» 20 »	1,255	1,170	1,160
» 22 »		1,350	1,330
» 23 »			1,610

Il résulte de ce tableau qu'à 14 nœuds la consommation d'eau est très légèrement plus forte pour les paquebots à turbines que pour ceux à machines

Fig. 9.

Forme approximative des courbes de résistance



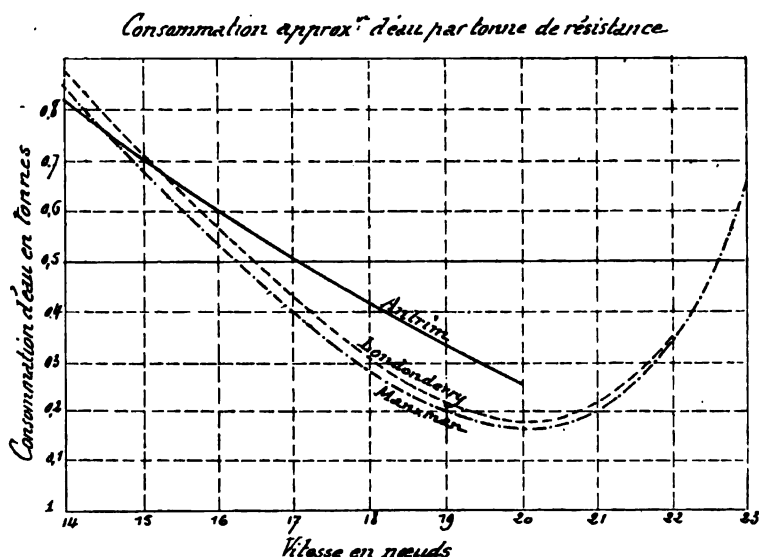
alternatives, mais que ceux-ci reprennent l'avantage à peu près vers 15 nœuds (voir fig. 10).

Par contre leur consommation augmente à partir de 20 nœuds, ce qui corroborerait les observations faites d'après le recul des propulseurs. Au-dessus de 20 nœuds, le rendement global tend à baisser, et entre 22 et 23 nœuds la chute est importante, c'est-à-dire qu'il y a très probablement gaspillage de puissance, dû à l'utilisation insuffisante des propulseurs, qui tournent trop vite.

Examen des résultats obtenus en service. — Il nous reste à examiner les résultats obtenus en service, résumés dans les tableaux VIII, IX et X, qui ne sont, ainsi qu'il a été dit, que le détail du tableau unique figurant dans le mémoire de M. Gray.

Cette division en périodes de comparaison est, croyons-nous, indispensable, pour se rendre à peu près compte de la valeur relative des deux paquebots, et aussi des variations dans les conditions climatiques, qui n'ont pas été négligeables entre le 1^{er} septembre 1904 et le 24 juin 1905.

Fig. 10.



Ce fractionnement met en lumière certains points intéressants.

C'est ainsi que, sur le tableau VIII, on constate que, pour les périodes des 23-28 septembre et 18 octobre-1^{er} novembre 1904, le *Londonderry* s'est montré, au point de vue de la vitesse, très nettement inférieur à l'*Antrim*, bien que les temps de marche, et les consommations de combustible soient à peu près les mêmes.

L'infériorité de vitesse est loin d'être négligeable, puisqu'elle se chiffre par 8,5 pour 100, pour la première période, et par 5,3 pour 100 pour la seconde.

Nous avons recherché si cette perte de vitesse n'était pas due au gros temps, qui affecte plus le fonctionnement des hélices de petit diamètre tournant vite, que celui d'hélices plus grandes tournant plus lentement, mais il résulte des renseignements fournis par le Bureau Central Météorologique, que, pendant ces deux dernières périodes, la mer d'Irlande fut peu agitée. Il faut donc chercher ailleurs la cause de cette infériorité. Peut-être la turbine HP, qu'il a fallu réparer en novembre suivant, fonctionnait-elle mal dès cette époque, peut-être y a-t-il eu intervention du coefficient de chauffe ou du

coefficient de navigation du commandement. En tout cas il y a là une anomalie, qui ne s'est d'ailleurs pas répétée ultérieurement, mais qui, pour la période totale envisagée, a fait baisser le coefficient de comparaison du *Londonderry*.

Celui-ci est inférieur pour cette période à celui de l'*Antrim*, alors que le tableau X indique le résultat inverse.

Quant au *Manxman*, le tableau IX fait nettement ressortir sa supériorité. Cependant, pour la période du 9 au 23 février, sa vitesse est inférieure à celle de l'*Antrim*, de peu il est vrai, mais pas plus que précédemment nous n'avons réussi à déterminer la cause de cette infériorité temporaire.

Quoi qu'il en soit, le coefficient de comparaison du *Manxman* est, malgré cette anomalie, supérieur à celui de l'*Antrim*.

Conclusions. — Nous bornerons là cette étude déjà longue, qui montre, lorsqu'on descend dans le détail des chiffres donnés par M. Gray, et qu'on analyse les circonstances dans lesquelles ils ont été obtenus, que les paquebots à turbines ont une réelle supériorité sur ceux à machines alternatives dans le cas considéré.

Leur supériorité, tant au point de vue de la vitesse qu'à celui de la consommation, ne tient pas seulement à un plus faible déplacement, qui, pour une vitesse donnée, n'exige qu'une puissance moins considérable, mais encore à une meilleure utilisation de la vapeur dans les appareils moteurs, malgré une vitesse de rotation bien élevée pour les propulseurs.

Sans doute les deux paquebots à turbines, conçus dans des vues différentes, ne sont pas aussi économiques l'un que l'autre.

Le *Londonderry*, avec ses turbines légères et peu encombrantes, consomme un peu plus que le *Manxman*, dont les appareils moteurs sont plus volumineux et plus pesants.

Cette différence était dictée par des considérations financières, et aussi par le désir d'étudier l'influence du poids des appareils sur l'économie de l'exploitation.

Il ressort des chiffres que nous venons d'exposer, que, comme on pouvait s'y attendre, il est plus économique d'employer des appareils plus lourds, et par suite plus coûteux comme construction.

L'emploi de tels appareils, en permettant de réduire la vitesse de rotation des propulseurs, met ceux-ci dans de meilleures conditions de fonctionnement, qui améliorent très sensiblement le rendement global.

Sans doute il ne faut pas aller trop loin dans le sens de l'accroissement du poids, c'est une question d'espèce ; mais il ne faut pas non plus rechercher une légèreté excessive, et il est toujours plus avantageux d'accepter une dépense de construction un peu plus considérable, si celle-ci permet de réduire les dépenses journalières d'exploitation. L'accroissement de ces dernières dépenses, si faible soit-il, finit par faire des sommes beaucoup plus

considérables que l'intérêt du surcroît de dépense de construction, qu'aurait causé l'emploi d'appareils plus économiques.

En tous cas l'étude que nous venons de faire montre avec quels soins M. le Professeur Biles et M. Gray ont étudié les formes et les proportions des paquebots, en vue du service à faire et de la vitesse de régime à réaliser.

Ces paquebots sont très réussis à tous égards, et la forme des courbes de résistance, pour approximative qu'elle soit, explique pourquoi aux grandes vitesses la résistance ne s'exagère pas. A ces vitesses, la réaction du système de lames d'avant sur celui d'arrière donne une résultante négative, ce qui permet d'atteindre une très bonne utilisation générale, malgré l'utilisation relativement médiocre des propulseurs. Cette utilisation eût sans doute été notablement améliorée aussi pour le rendement global et la consommation, par l'emploi de turbines plus développées, et par suite un peu plus pesantes. Le gain de poids par rapport aux machines alternatives eût été diminué, mais fût cependant resté sensible.

RÉSISTANCE A LA ROTATION DES PROPULSEURS

DANS LES NAVIRES A TROIS HÉLICES.

RÉSISTANCE DE L'HÉLICE D'UN REMORQUEUR.

UNE ANOMALIE APPARENTE DE NOS FORMULES ORDINAIRES,

PAR M. DOYÈRE,

Ingénieur en chef de 1^{re} classe du Génie maritime.

1. Résistance des propulseurs dans les bâtiments à trois hélices. — Depuis 1889, nous avons indiqué, comme exprimant la résistance à la rotation de l'hélice d'un navire, la formule

$$\frac{N}{\sqrt[3]{F}} = A \left(1 - \frac{0,042 B^2}{\pi D^2} \right) \frac{1 + 0,78 \lambda}{H \sqrt{S}},$$

et indiqué les valeurs moyennes de A pour les navires à une ou deux hélices.

Une étude de M. l'Ingénieur principal Lelong, insérée au *Mémorial du Génie maritime* sous le titre *L'état actuel de la question des hélices*, nous fournit les premiers éléments pour l'application de notre formule aux navires à trois hélices, pour lesquels nous n'avions jusqu'à présent calculé aucune donnée.

Tous les navires à trois hélices cités dans ce mémoire ont des machines verticales (sauf le *Dupuy-de-Lôme*), et des hélices à trois ailes. Ils donnent les résultats suivants, lorsque les trois hélices sont en marche simultanément :

Valeur de A.

	Vitesse.	Machines verticales.		Machines horizontales.	
		Hélices latérales.	Hélice centrale.	Hélices latérales.	Hélice centrale.
<i>Amiral-Aube</i> ...	14,62	47,4	44,6	"	"
<i>Bouvet</i>	18,19	44,9	45,1	"	"
<i>Charlemagne</i>	17,23	44,7	41,8	"	"
<i>Desaix</i>	20,61	43,9	42,8	"	"
Id.	14,83	42,8	43,0	"	"
<i>Gueydon</i>	21,04	46,4	44,4	"	"
Id.	18,67	47,3	45,9	"	"
<i>Gloire</i> ,.....	21,27	45,7	43,7	"	"
<i>Henri-IV</i>	17,29	45,3	44,5	"	"
Id.	10,18	44,7	44,3	"	"
<i>Dupuy-de-Lôme</i> .	19,73	"	43,2	43,10	"
Id. .	14,33	"	42,4	43,2	"
<i>Jeanne-d'Arc</i> ...	21,72	44,2	42,0	"	"
Id. ...	19,86	45,6	42,3	"	"
<i>Kléber</i>	21,25	46,9	45,8	"	"
<i>Montcalm</i>	21,09	45,7	44,4	"	"
Id.	18,42	46,7	45,3	"	"
<i>Saint-Louis</i>	17,84	44,9	43,3	"	"
Moyenne...	"	45,25	43,82	"	"

$$\text{Rapport} \dots \dots \dots \frac{45,25}{43,82} = 1,033$$

Il faut ajouter le *Dupleix* :

<i>Dupleix</i>	20,89	50,0	47,6	"	"
Id.	13,48	51,4	45,5	"	"

qui se présente comme anormal, et dont il faut sans doute expliquer l'anomalie par les considérations de M. Lelong sur l'épaisseur des ailes, dont il sera question plus loin, si toutefois elle n'est pas le résultat ou d'une déformation des ailes (soit permanente, soit en marche), ou des variations considérables du couple moteur, et de l'accélération angulaire de l'arbre constatées aux essais du *Dupleix*.

En laissant de côté ce cas isolé et unique, on peut faire les remarques suivantes :

1° Il ressort des autres chiffres, que, avec l'approximation habituelle, on peut compter, pour les hélices latérales des navires à trois hélices, sur un coefficient de 45,2 environ, et, pour l'hélice centrale, sur un coefficient

de 43,8, soit, pratiquement, pour les premiers 45, pour les seconds 44. (Il s'agit uniquement ici de machines verticales et d'hélices à trois ailes.)

2° Le rapport $\frac{45,25}{43,82} = 1,033$ montre que, à égalité de puissance, les hélices latérales tournent plus vite que l'hélice centrale, la différence étant de trois tours pour 100 en moyenne. Nous avons, dès 1889, signalé cette différence de résistance entre l'hélice d'un navire à une seule hélice centrale et les hélices d'un bâtiment à hélices jumelles, et indiqué, comme valeur du rapport des nombres de tours pour une même puissance, 1,02 ou 1,03. La différence paraît un peu plus forte en moyenne entre l'hélice centrale d'un navire à trois hélices et ses hélices latérales, ce qui tient sans doute à ce que l'hélice centrale est souvent plus immergée; en tout cas, il semble bien que la différence entre la résistance de l'hélice centrale et celles des hélices latérales soit due surtout à la position des hélices par rapport à la coque, et non à la réaction des unes sur les autres, puisque la même particularité se présente alors que cette réaction n'existe pas.

3° En revanche, la réaction réciproque des hélices semble augmenter la résistance des unes et des autres. Nous avons indiqué en effet, antérieurement, comme valeur moyenne de A pour les grandes vitesses (hélices à trois ailes) :

Jumelles	47,4	Centrale...	46,3
----------------	------	-------------	------

tandis que nous trouvons, pour les navires à trois hélices,

Latérales.....	45,2	Centrale...	43,8
Rapport des chiffres correspondants ...	$\frac{45,2}{47,4} = 0,954$		$\frac{43,8}{46,3} = 0,946$

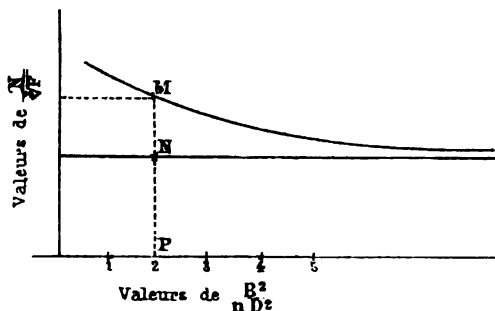
La différence serait, en moyenne, de cinq tours sur cent. Réciproquement, pour obtenir le même nombre de tours, toutes choses égales d'ailleurs (et, en particulier, $\frac{B^2}{nD^2}$ étant supposé le même), il faudrait, en moyenne, sur un navire à trois hélices, dépenser 15 à 16 pour 100 de puissance de plus que sur un navire à deux hélices, par suite de la réaction réciproque des propulseurs. Il ne faut, d'ailleurs, rien conclure de là au point de vue de l'utilisation, car la résistance à la rotation et le rendement sont deux choses très distinctes.

Nota. — Il ne faudrait pas croire non plus que si, sur un navire à trois hélices, on marche avec les deux hélices latérales seules, le rapport $\frac{N^3}{F}$ de ces hélices sera forcément plus grand que lorsque les trois hélices sont en marche; l'inverse peut se produire, parce que $\frac{B^2}{nD^2}$ est multiplié par $\frac{3}{2}$. Il y a là, d'ailleurs, des conditions particulières de marche, qui ne sont pas celles

que nous envisageons plus haut, et ces conditions elles-mêmes varient suivant que l'hélice centrale est embrayée ou déembrayée. A titre d'exemple, citons le *Henri-IV*, sur lequel il a été fait deux essais comparatifs, aux environs de 1800^{chx}, l'un avec les trois hélices, l'autre avec les deux hélices latérales, l'hélice centrale étant déembrayée. Ce second essai a donné pour les hélices centrales une valeur de $\frac{N^3}{F}$ plus petite que celle que l'on a trouvée dans le premier; mais, en tenant compte de la variation de $\frac{B^2}{nD^2}$, on trouve que la valeur de A dans l'essai à deux hélices est de 4 pour 100 supérieure à la valeur de A dans l'essai à trois hélices, ce qui rentre dans les limites ordinaires.

2. **Résistance à la rotation de l'hélice d'un remorqueur.** — Dans la formule dont nous nous servons, le terme correctif $\left(1 - 0,042 \frac{B^2}{nD^2}\right)$, introduit empiriquement pour tenir compte de l'influence de la résistance relative, a été établi en partant des seules expériences du *Pélican*, expériences dans lesquelles le rapport $\frac{B^2}{nD^2}$ n'a varié qu'entre 1,63 et 3,69, mais n'est jamais descendu aux faibles valeurs qu'on réalise maintenant. Il suit de là que, pour des navires ordinaires ayant des valeurs de $\frac{B^2}{nD^2}$ voisines de 2, on est dans les limites d'une interpolation permise; cette interpolation consiste à remplacer par une droite, entre les limites $\frac{B^2}{nD^2} = 1,63$ et $\frac{B^2}{nD^2} = 3,69$, la courbe représentant $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$ en fonction de $\frac{B^2}{nD^2}$. En réalité cette courbe n'est pas

Fig. 1.



une droite. Partant d'une certaine ordonnée MP pour $\frac{B^2}{nD^2} = 2$, par exemple, elle se dirige vers la droite asymptotiquement à une horizontale, qui corres-

pond à la valeur de $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$ pour l'hélice tournant au point fixe, asymptote telle que $\overline{NP} =$ sensiblement 0,80 à 0,85 MP.

Vers la gauche, au contraire, la courbe remonte. Le terme correctif $1 - 0,042 \frac{B^2}{nD^2}$ correspond en gros à la corde de l'arc de courbe compris entre les abscisses 1,63 et 3,69; en dehors de ces limites, cette corde s'écarte de plus en plus de la courbe réelle.

Quelques données un peu plus précises à ce sujet ont de l'intérêt quand il s'agit d'un remorqueur; on sait, en effet, que, quand on passe du navire en route libre au navire remorquant, la valeur de $\frac{N^2}{F}$ diminue notablement; il en est de même par suite de la valeur $\frac{N^2}{p}$, et la conséquence est que pour la valeur maxima p que peut prendre l'ordonnée moyenne de la machine, d'après la pression aux chaudières et l'introduction i , N , et par suite la puissance développée, sont notablement moindres en remorque qu'en route libre; le remorqueur *boude* devant le travail, et refuse celui-ci précisément au moment où l'on en a besoin.

Nous avons essayé de réunir quelques données d'expérience permettant de chiffrer l'importance de la variation dont nous parlons.

I. *Essais sur place.* — Voici d'abord quelques résultats d'essais sur place, permettant de déterminer l'ordonnée de l'asymptote de la courbe C.

Nom du bâtiment.	Nombre d'hélices.	Valeur du rapport $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$		Rapport. $\frac{n'}{n}$.
		dans l'essai de puissance en route libre. n .	dans un essai sur place. n' .	
<i>Lapérouse</i>	1	6,72	5,55	0,83
<i>Nielly</i>	1	6,39	5,27	0,82
<i>Châteaurenault</i> ancien (hélices primitives).	1	6,45	5,65	0,88
<i>Magon</i>	1	6,70	5,27	0,79
<i>Desaix</i>	1 (1)	7,33	6,24	0,85
<i>Henri IV</i> {	bâbord ...	7,85	6,04	0,77
	tribord ...	7,75	6,24	0,81
Moyenne.....	"	"	"	0,82

(1) Nous comparons l'essai sur place, avec l'hélice centrale seule, à un essai en route libre avec la même hélice seule en marche, ce qui est rationnel.

(2) N'ayant pas de résultats d'essai en route libre avec une seule hélice, nous sommes obligés de comparer l'essai sur place, avec chacune des hélices latérales fonctionnant seule, à l'essai en route libre avec deux hélices, ce qui altère un peu les résultats.

La moyenne du rapport $\frac{n'}{n}$ est ainsi voisine de 0,82, avec des écarts de 5 à 6 pour 100 en plus ou en moins; on ne peut s'attendre évidemment à plus de précision, étant données les différences d'un navire à l'autre, et les circonstances diverses, telles que profondeur d'eau, proximité du quai où est amarré le bateau, etc., qui peuvent influer sur les résultats d'un essai sur place. Ajoutons aussi qu'en général, la puissance pendant ces essais est loin d'être déterminée avec la même précision que pendant les essais officiels en route libre. Enfin, nous savons que, pour le navire en marche, $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$ n'est pas rigoureusement constant; par conséquent, suivant la valeur particulière n à laquelle nous comparons n' , le rapport $\frac{n'}{n}$ varie.

Dans leur traité de *Théorie de navire* (t. IV, p. 281), MM. Pollard et Dudebout écrivent :

« A égalité de pression moyenne sur les cylindres, ou de couple moteur, la marche vent debout, ou même au point fixe, ne fait guère tomber l'allure et, par suite, la puissance développée, au-dessous des deux tiers de ce qu'elles sont en route libre. »

Ceci revient à dire que $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$ est réduit dans le rapport de $\sqrt[3]{\frac{2}{3}}$ à 1; or

$$\sqrt[3]{0,6667} = 0,816,$$

chiffre qui correspond avec ce que nous avons trouvé ci-dessus.

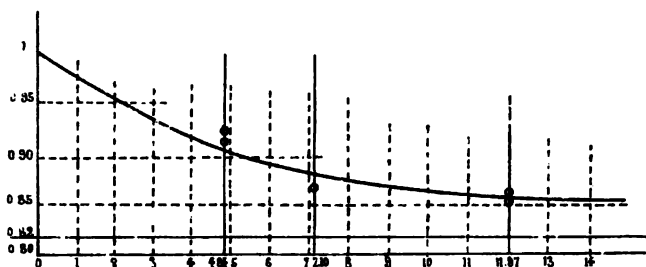
Ainsi l'ordonnée de l'asymptote de la courbe représentant $\frac{n'}{n}$ est, en moyenne, d'environ 0,82.

II. *Essais de remorquage.* — Voici maintenant quelques chiffres relatifs à des essais de remorquage :

Nom du remorqueur.	Date de l'essai.	Nom du bâtiment remorqué.	B ² du remorqueur.	B ² du remorqué.	Diamètre de l'hélice du remorqueur D.	$x = \frac{B^2}{D^5}$	Nombre de tours N.	Puissance en chevaux F.	Rapport $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$	Rapport en remorquage et en route libre.
1880										
Marsouin..	24 sept	(route libre)	m ² 10,36	"	m 2,50	0,00	146	317	21,45	"
Id. ..	30	Shamrock	10,36	74,80	2,50	11,97	133	376	18,50	0,86
Id. ..	18 oct.	Id.	10,36	74,80	2,50	11,97	130	337	18,67	0,87
1883										
Laborieux..	8 févr.	(route libre)	13,06	"	2,80	0,00	125,5	629	14,65	"
Id. ..	14	Id.	13,24	"	2,80	0,00	125,7	626	14,69	"
Id. ..	23	Galathée	13,42	38 env.	2,80	4,84	118,0	636	13,72	0,93
Id. ..	8 mars	Id.	13,42	Id.	2,80	4,84	113,2	582	13,56	0,91
1895										
Menhir....	30 janv.	(route libre)	5,50	"	1,60	"	192,8	200	32,95	"
Id.	9 févr.	Haleur	5,36	18,17	1,60	7,10	166,0	195	28,62	0,87

Si l'on prend les valeurs de $\gamma = \frac{n'}{n}$ (c'est-à-dire la réduction du rapport $\frac{N}{\sqrt{F}}$) pour ordonnées, en prenant comme abscisses la résistance relative du remorqué par rapport à l'hélice du remorqueur, résistance relative définie à la façon ordinaire par le rapport $\frac{B'^2}{D^2}$, on obtient une courbe comme ci-dessous, asymptote à la droite $\gamma = 0,82$, et partant de l'axe Oy au point $\gamma_0 = 1$.

Fig. 2.



Le tracé de cette courbe donne les valeurs approximatives suivantes :

Pour $\frac{B'^2}{D^2}$	0	3	5	10	∞
$\frac{n'}{n}$	1	0,93	0,90	0,87	0,82

Il est à peine besoin de remarquer que ces chiffres ne sont que grossièrement approximatifs. Le rapport $\frac{B'^2}{D^2}$ ne définit, en effet, que très imparfaitement la résistance relative du navire remorqué. Dans les expériences ci-dessus relatées, le remorqué est un navire de formes ordinaires; mais, si l'on remorque un bateau de formes exceptionnellement lourdes, un chaland rectangulaire, un navire ayant un fardage énorme, etc., il va sans dire que la résistance augmente. On sait par exemple que, aux vitesses courantes de remorquage, un navire de formes ordinaires présente une résistance à la traction de 4^{kg} à 5^{kg} par mètre carré de B^2 et par mètre de vitesse, tandis qu'un chaland carré peut atteindre 25^{kg} à 30^{kg}. Le mètre carré de B^2 du chaland équivaudrait donc à 5^{m²} ou 6^{m²} de B^2 d'un navire de finesse ordinaire, et l'on devrait prendre sur la courbe ci-dessus le point correspondant à ce B^2 rectifié.

Tels quels, et si incomplets qu'ils soient, les chiffres ci-dessus nous ont paru pouvoir être de quelque utilité.

3. Explication de quelques cas anormaux dans l'application de notre formule. — L'existence de la courbe ci-dessus explique certains cas anormaux, que M. Lelong a signalés. Tout en observant, en effet, que presque tous les calculs qu'il a fait faire par notre méthode donnent des valeurs de A très concordantes, il signale cependant quelques exceptions, en qualifiant de ce nom les cas où la valeur $A_{\max}$ est égale ou supérieure à 50. Il attribue ces divergences à l'influence de l'épaisseur des ailes d'hélices, les hélices très minces donnant lieu à de grandes valeurs de A .

Sans nier la possibilité d'une telle influence, nous croyons pouvoir expliquer autrement et plus simplement ces écarts.

Si nous considérons tous les bâtiments à deux hélices seulement indiqués par M. Lelong comme ayant des valeurs de A exceptionnellement grandes, nous voyons que ce sont *tous* des torpilleurs ou des contre-torpilleurs, dont les hélices sont énormes par rapport à la coque qu'elles actionnent, c'est-à-dire pour lesquels la valeur $\frac{B^2}{nD^2}$ est exceptionnellement faible. Le tableau ci-dessous le fait voir :

Nom du bâtiment.	Nombre d'ailes.	Nombre d'hélices.	Diamètre des hélices.	B^2 .	$\frac{B^2}{2D^2}$.
			m	m^2	
<i>Cyclone</i>	4	2	1,95	4,65	0,61
<i>Fauconneau</i>	4	2	2,31	7,68	0,72
Id.	4	2	2,31	8,00	0,75
<i>Lahire</i>	4	2	3,00	18,04	1,00
<i>Mistral</i>	4	2	2,02	5,87	0,72

Ainsi $\frac{B^2}{2D^2}$ est ici inférieur à 1, alors que, sur les navires ordinaires, il est généralement égal à 1,5, à 2, à 2,5 et même plus.

La grande dimension relative des hélices de ces petits navires fait qu'elles reçoivent des filets liquides moins influencés, moins déviés par la coque, et nous sommes portés à croire que cette cause entre pour une part notable dans l'anomalie apparente des résultats trouvés.

Ceci revient à dire qu'on se trouve, dans ce cas, en dehors des limites de l'interpolation, dont il a été parlé ci-dessus : la valeur de $\frac{B^2}{nD^2}$ correspond à un point à gauche de ces limites, et pour lequel par conséquent l'ordonnée de la courbe $\frac{N}{\sqrt[3]{F}}$ augmente.

Nous pourrions essayer de rectifier la formule, en y remplaçant le terme correctif $1 - 0,042 \frac{B^2}{nD^2}$ par une fonction plus compliquée de la résistance relative. Il nous paraît préférable de garder cette expression, mais il doit être entendu que le coefficient A , qui, pour des navires ayant des hélices ju-

nelles à trois ailes, est voisin de 47 quand les valeurs de $\frac{B^2}{nD^2}$ sont comprises dans les limites ordinaires, devra être porté de 50 à 52 quand les valeurs de $\frac{B^2}{nD^2}$ descendront à 1, à 0,75, à 0,60. Inversement, il semble qu'il conviendrait de diminuer un peu A quand $\frac{B^2}{nD^2}$ est très grand (ainsi qu'il arrive pour des bâtiments à très faible tirant d'eau).

4. **Observations sur le point de départ de nos formules.** — On s'est étonné, et l'on peut en effet s'étonner à juste titre, de voir qu'une formule, établie, comme l'est la nôtre en partant de considérations théoriques sur l'hélice tournant au *point fixe*, puisse valoir encore pour des navires marchant en route libre. Voici l'explication de ce fait.

Considérons, à la façon ordinaire, un élément d'hélice AB : 1° tournant au point fixe (*fig. 3*); 2° tournant en route libre (*fig. 4*); soit, dans les deux cas, ω sa vitesse angulaire.

Fig. 3.

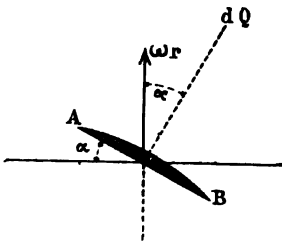
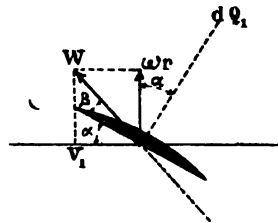


Fig. 4.



Au point fixe, la vitesse relative de l'eau par rapport à l'élément est simplement ωr , et, dans l'hypothèse où l'on admet pour les pressions normales la loi du sinus carré, on a, comme pression normale élémentaire sur l'unité de surface :

$$dQ = K \omega^2 r^2 \cos^2 \alpha.$$

En route libre, la vitesse relative de l'eau par rapport à l'élément est W, résultante de ωr et d'une vitesse longitudinale V_1 égale et de sens contraire à la vitesse d'entraînement de l'hélice relativement à l'eau dans laquelle elle travaille. Cette vitesse V_1 n'est pas égale à la vitesse réelle V du navire, mais à cette vitesse diminuée de la vitesse d'entraînement de l'eau par la coque au voisinage de l'hélice :

$$V_1 = V - v,$$

ou, en posant $v = \varepsilon V$ (ε = coefficient d'entraînement de l'eau),

$$V_1 = (1 - \varepsilon) V.$$

La pression normale sur l'unité de surface élémentaire est

$$dQ_1 = KW^2 \sin^2 \beta.$$

Mais

$$W \sin \beta = \omega r \cos \alpha - V_1 \sin \alpha = \omega r \cos \alpha - (1 - \epsilon) V \sin \alpha,$$

$$W \sin \beta = \omega r \cos \alpha \left[1 - \frac{(1 - \epsilon) V}{\omega r} \tan \alpha \right].$$

Or

$$\tan \alpha = \frac{2\pi r}{H}.$$

Donc

$$W \sin \beta = \omega r \cos \alpha \left[1 - \frac{2\pi(1 - \epsilon)V}{\omega H} \right],$$

ou enfin, en remplaçant ω par $\frac{\pi N}{30}$ et V par $\frac{NH(1 - \rho)}{60}$, ρ étant le coefficient de recul apparent du navire,

$$W \sin \beta = \omega r \cos \alpha [1 - (1 - \epsilon)(1 - \rho)],$$

$$W \sin \beta = \omega r \cos \alpha (\epsilon + \rho - \epsilon\rho).$$

Par suite,

$$dQ_1 = K \omega^2 r^2 \cos^2 \alpha (\epsilon + \rho - \epsilon\rho)^2.$$

On tire de là

$$(A) \quad \frac{dQ_1}{dQ} = (\epsilon + \rho - \epsilon\rho)^2.$$

Ceci nous fait voir que, dans les hypothèses de la théorie approximative où nous nous sommes placés, pour passer du cas de l'hélice au point fixe à l'hélice en route libre, il suffit de multiplier le coefficient K par un certain facteur. Celui-ci varie d'un point à l'autre de l'hélice; mais en lui attribuant une valeur moyenne, notre théorie, appliquée au cas de la route libre, fera apparaître exactement les mêmes fonctions des éléments de l'hélice qu'au point fixe, et, en particulier, la surface efficace S telle que nous l'avons définie; la modification portera uniquement sur les fonctions correctrices, que nous avons introduites pour mettre nos formules théoriques d'accord avec l'expérience. Or *ces fonctions correctrices ont été déterminées empiriquement pour le cas de navires marchant en route libre*. Nous sommes donc en droit de dire que notre théorie est faite, aussi bien que toute autre, pour le cas de l'hélice en route libre : nous oserons même dire mieux que beaucoup d'autres, car elle demande à la pratique les corrections qu'il faut apporter aux conclusions des considérations spéculatives, considérations qui, en pareille matière, sont sans valeur, si elles ne sont pas corroborées par l'expérience.

5. **Entraînement de l'eau par la coque d'un navire.** — Le rapport $\frac{dQ_1}{dQ}$, qui existe entre les pressions unitaires, pour un nombre de tours donné, suivant

que la machine tourne au point fixe ou en route libre, est l'inverse de celui qui doit exister entre les valeurs correspondantes de $\frac{N^3}{F}$.

Or, pour des bâtiments ordinaires, on trouve en général, comme nous l'avons vu plus haut, que le rapport $\frac{N^3}{F}$ du bâtiment au point fixe est égal en moyenne aux 0,55 (admettons 0,50 à 0,60) du même rapport pour le bâtiment en route libre. Donc

$$(\varepsilon + \rho - \varepsilon\rho)^2 = 0,50 \text{ à } 0,60,$$

soit

$$\varepsilon + \rho - \varepsilon\rho = 0,70 \text{ à } 0,78 \quad (\text{moyenne : } 0,74 \text{ env.}).$$

Ceci amène à conclure :

Pour $\rho = 0, \dots$	$\varepsilon = 0,70 \text{ à } 0,78$
Pour $\rho = 0,10, \dots$	$\varepsilon = 0,67 \text{ à } 0,75$
Pour $\rho = 0,20, \dots$	$\varepsilon = 0,62 \text{ à } 0,72$

c'est-à-dire que la vitesse d'entraînement de l'eau par la coque au voisinage de l'hélice pourrait atteindre 60 à 78 pour 100 de la vitesse même du navire.

Ces chiffres sont énormes; on ne doit les accepter que sous toutes réserves, leur valeur dépendant de la loi du sinus carré, que nous avons admise comme point de départ. Si nous étions partis de la loi du sinus simple, nous serions arrivés, par les mêmes raisonnements que ci-dessus, à la formule :

$$\frac{dQ_1}{dQ} = \varepsilon + \rho - \varepsilon\rho,$$

c'est-à-dire à

$$\varepsilon + \rho - \varepsilon\rho = 0,50 \text{ à } 0,60,$$

d'où nous aurions tiré :

Pour $\rho = 0, \dots$	$\varepsilon = 0,50 \text{ à } 0,60$
Pour $\rho = 0,10, \dots$	$\varepsilon = 0,44 \text{ à } 0,55$
Pour $\rho = 0,20, \dots$	$\varepsilon = 0,38 \text{ à } 0,50$

Ces chiffres paraissent très forts encore; nous croyons toutefois avoir lu, relatées quelque part, des expériences dans lesquelles on aurait mesuré directement, comme vitesse d'entraînement de l'eau par la coque, jusqu'à 40 à 50 pour 100 de la vitesse de celle-ci.

Au reste, il serait plus exact d'employer ici la tournure prudente : « Les choses se passent comme si la coque entraînait l'eau parallèlement à l'axe du navire avec les vitesses ci-dessus. » Dans la réalité, en effet, il est certain que l'eau n'entre pas dans l'hélice avec la même vitesse en tous les points de celle-ci, et qu'elle n'y entre pas parallèlement à l'axe. Il suit de là que tous

les raisonnements que l'on fait en partant de cette composition élémentaire de deux vitesses pèchent par la base, et cela dans des proportions telles, que les théories ayant cette composition pour point de départ sont, pratiquement, autant et peut-être plus inexactes que la théorie qui part de l'hélice tournant au point fixe; elles demanderaient en tout cas des corrections empiriques analogues.



NOTE

SUR

LA RÉSISTANCE DE L'HÉLICE CENTRALE

DES NAVIRES A TROIS HÉLICES,

PAR M. BEAUSIRE,
Ingénieur du Génie maritime,
Professeur à l'École d'Application du Génie maritime.

Dans les navires à trois hélices, l'hélice centrale offre, de par sa position, une résistance à la rotation supérieure à celle des hélices latérales. C'est là un fait bien connu, qui a été signalé dès le début de la mise en service des navires à hélices triples.

Mais, si l'on est d'accord en général sur le fait en lui-même, on l'est moins sur ses causes. Cet accroissement de résistance a été attribué, en effet, soit à l'action des hélices latérales sur l'hélice centrale, soit à l'action de la coque, à l'exclusion de celle des hélices latérales, soit aux deux actions à la fois.

Nous nous proposons de faire connaître un certain nombre de résultats d'essais, de nature, nous le pensons, à jeter quelque clarté sur cette question.

Pour fixer les idées, disons tout de suite que ces résultats nous amèneront, avec quelques réserves, aux conclusions suivantes : L'augmentation de résistance de l'hélice centrale est due à l'action du mouvement de la coque, probablement au sillage. La réaction des hélices latérales, quand elles sont sur l'avant de l'hélice centrale, diminue la résistance de cette dernière. L'action de la *coque au repos* (gouvernail, effet de voûte, etc.) n'est pas sensible sur l'augmentation de résistance en question.

Nous exposerons d'abord les résultats. Nous en déduirons ensuite des conséquences. Mais auparavant nous allons donner quelques définitions, et faire une remarque importante.

Définitions. — 1° Nous appelons *résistance brute* d'une hélice le rapport $\frac{F}{N^3}$ de la puissance indiquée en chevaux développée par la machine qui conduit l'hélice au cube du nombre de tours par minute. Il serait évidemment plus exact de prendre pour mesure de la résistance de l'hélice le rapport $\frac{F'}{N^3}$, F' étant la puissance effective de la machine. Mais nous ne connaissons pas cette puissance effective. Du reste ces deux valeurs $\frac{F'}{N^3}$ et $\frac{F}{N^3}$ sont dans le rapport du rendement mécanique de la machine. Ce rendement doit peu varier, soit pour une même machine d'un essai à un autre, soit pour les trois machines d'un même bâtiment, soit même pour les machines de navires analogues. On peut donc admettre le coefficient $\frac{F}{N^3}$. Toutefois on devra se rappeler qu'il peut être influencé par le rendement mécanique de la machine.

2° Nous donnons le nom de *coefficient de résistance* d'une hélice triple au coefficient A de la formule de Moll prise sous la forme

$$F = AN^3 \left(\frac{B^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} D^{\frac{7}{3}} H^2 f^{\frac{1}{3}} n^{\frac{1}{6}} = AN^3 \left(\frac{B^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} K.$$

B^2 mètre-couple du bâtiment ;

D diamètre de l'hélice ;

H pas ;

f fraction de pas ;

n nombre d'ailes ;

$$K = D^{\frac{7}{3}} H^2 f^{\frac{1}{3}} n^{\frac{1}{6}}.$$

3° Enfin nous prenons, comme mesure de la résistance relative de l'hélice centrale par rapport aux hélices latérales, le rapport ρ du coefficient de résistance A de l'hélice centrale à la moyenne A_M des coefficients de résistance des hélices latérales. Nous appelons ce rapport *coefficient de résistance relative* de l'hélice centrale.

Nous considérons aussi le rapport β de la résistance brute de l'hélice centrale à la moyenne des résistances brutes des hélices latérales.

Il est évident que, si les hélices latérales sont identiques, le coefficient ρ est égal au rapport β multiplié par le rapport des valeurs de K pour les hélices latérales et centrale.

Pour un même bâtiment, ou pour des bâtiments à hélice identiques, le rapport β , indépendant de toute hypothèse sur la relation qui relie la résistance brute $\frac{F}{N^3}$ aux éléments de l'hélice, sera intéressant à considérer.

Remarque. — Le coefficient de résistance relative de l'hélice centrale dépend des puissances relatives développées par les trois machines. Si ces

puissances sont sensiblement égales, le coefficient de résistance relative est supérieur à l'unité. Mais, si ces puissances sont différentes, il se produit des effets d'entraînement des hélices les unes sur les autres, qui peuvent soit augmenter la résistance brute de l'hélice centrale, soit diminuer cette résistance brute, au point que le rapport des résistances brutes β , et même le coefficient de résistance relative ρ deviennent inférieurs à l'unité.

On sait, par exemple, que dans un bâtiment à trois hélices les machines latérales peuvent entraîner la machine centrale. L'hélice centrale n'est plus alors résistante, elle est motrice.

Du reste ces effets d'entraînement sont connus. Nous nous contenterons d'en donner deux exemples, dont l'un montre nettement une diminution de résistance de l'hélice centrale, et dont l'autre ne laisse pas d'être assez curieux.

Premier exemple. — Pendant les essais en route libre préliminaires du croiseur-cuirassé *Jules-Ferry*, on fit fonctionner les trois machines à la même puissance totale, en les réglant d'abord à des puissances individuelles sensiblement égales, ensuite à des nombres de tours très différents. Ces essais furent faits dans le but d'étudier l'effet de la différenciation de l'allure des machines sur les vibrations de la coque. Le tableau I ci-après donne, en même temps que les caractéristiques des hélices, les relevés pris sur les machines.

TABLEAU I.

(a). *Caractéristiques des hélices du Jules-Ferry (d'après les prévisions).*

	HÉLICES latérales.	HÉLICE centrale.
Diamètre D.....	m 5,35	m 8
Pas H.....	6,05	6,05
Fraction de pas totale f	0,293	0,293
Nombre d'ailes n	3	3
$K = D^{\frac{1}{2}} H^{\frac{1}{2}} f^{\frac{1}{2}} n^{\frac{1}{2}}$	1400	1250

(b). Résultats des essais.

B.	Fr. Puissance totale.	TRIBORD.				BABORD.				CENTRALE.				$\Delta \times 10^3$	ρ .	OBSERVATIONS.
		F.	N.	$\frac{\Delta}{4} \times \left(\frac{N}{K} \right)$	$A \times 10^3$.	F.	N.	$\frac{\Delta}{4} \times \left(\frac{N}{K} \right)$	$A \times 10^3$.	F.	N.	$\frac{\Delta}{4} \times \left(\frac{N}{K} \right)$	$A \times 10^3$.			
130	11245	3800	98	404	82	3593	96,75	396	81	3852	94	465	106	1,16	1,30	Essai du 2 août 1905.
134	11457	3914	98	415	83	3870	104	520	104	1673	80	325	73	0,7	0,78	Essai du 8 sept. 1905.

$\left(\frac{F}{N}\right)$ est la moyenne des résistances brutes des hélices latérales.

A_M est la moyenne des coefficients de résistance des hélices latérales.

A l'essai du 2 août 1905, les trois machines sont réglées à des puissances voisines. La résistance brute de l'hélice centrale est supérieure à celle des hélices latérales. Son coefficient de résistance *A* est *a fortiori* supérieur à celui de ces dernières, puisqu'elle a des dimensions plus faibles.

A l'essai du 8 septembre 1905, l'hélice tribord et surtout l'hélice bâbord entraînent l'hélice centrale. Non seulement la résistance brute de cette dernière est plus faible que celles des hélices latérales, mais même son coefficient de résistance relative est inférieur à l'unité.

Deuxième exemple. — On sait que MM. Yarrow et C^{ie} ont construit, il y a quelque temps, un torpilleur, dont l'appareil moteur se compose de deux turbines et d'une machine à piston. Ce torpilleur a trois arbres. Les arbres latéraux sont mus chacun par une turbine Rateau. La machine à piston actionne une hélice par l'intermédiaire de l'arbre central. Des résultats d'essais de ce petit bâtiment, tels qu'ils sont donnés dans l'*Engineering* du 8 avril 1904, nous déduisons le tableau II.

TABLEAU II.

Torpilleur Yarrow. — Essais du 13 octobre 1903.

NUMÉRO DE L'ESSAI.....	1.	2.	3.	4.	5.
Vitesse moyenne du bâtiment en nœuds.....	11,98	15,54	18,71	21,92	24,97
Nombre de tours par minute de la turbine HP (turbine bâbord).....	393	688	955	1172	1455
Nombre de tours par minute de la turbine BP (turbine tribord).....	395	687	994	1357	1657
Nombre de tours de la machine à piston N...	369	411	441	475	516
Puissance sur l'arbre de la machine à piston (0,9 de la puissance indiquée)..... F	239	260	251	235	232
Résistance brute de l'hélice de la machine à piston $\frac{F}{N^2}$	$\frac{475}{10^8}$	$\frac{375}{10^8}$	$\frac{292}{10^8}$	$\frac{220}{10^8}$	$\frac{170}{10^8}$

Pendant les divers essais, l'hélice centrale absorbe toujours sensiblement la même puissance, malgré une augmentation du nombre de tours d'environ 40 pour 100. Sa résistance brute, au lieu de rester sensiblement constante, diminue dans des proportions considérables. L'effet d'entraînement de l'hélice centrale par les hélices latérales est une explication plausible de cette singularité.

Il doit être tenu compte de ces effets d'entraînement dans l'étude des résultats d'essais, et aussi dans la conduite de ces essais. Ni l'une ni l'autre n'en sont du reste facilitées.

Résultats d'essais.

Jeanne-d'Arc. — Les essais au point fixe et en route libre, dont nous donnons les résultats dans les Tableaux III et IV, ont été faits avec les hélices primitives, dont voici les caractéristiques relevées :

	TRIBORD.	BABORD.	CENTRALE.
Diamètre D.....	5 ^m	5 ^m	4 ^m , 70
Pas H.....	5 ^m , 54	5 ^m , 54	5 ^m , 50
Fraction de pas <i>f</i>	0,271	0,271	0,279
Nombre d'ailes <i>n</i>	3	3	3
$K = D^{\frac{1}{3}} H^2 f^{\frac{1}{3}} n^{\frac{1}{6}}$	1020.	1020	880

Voici en outre des renseignements sur les positions relatives de ces hélices. L'axe de l'hélice centrale est à 0^m,20 au-dessus du plan des axes des hélices latérales, les axes des arbres latéraux sont à 4^m,800 de distance de l'axe de l'arbre central, les hélices latérales sont à 3^m sur l'avant de l'hélice centrale.

TABEAU III.

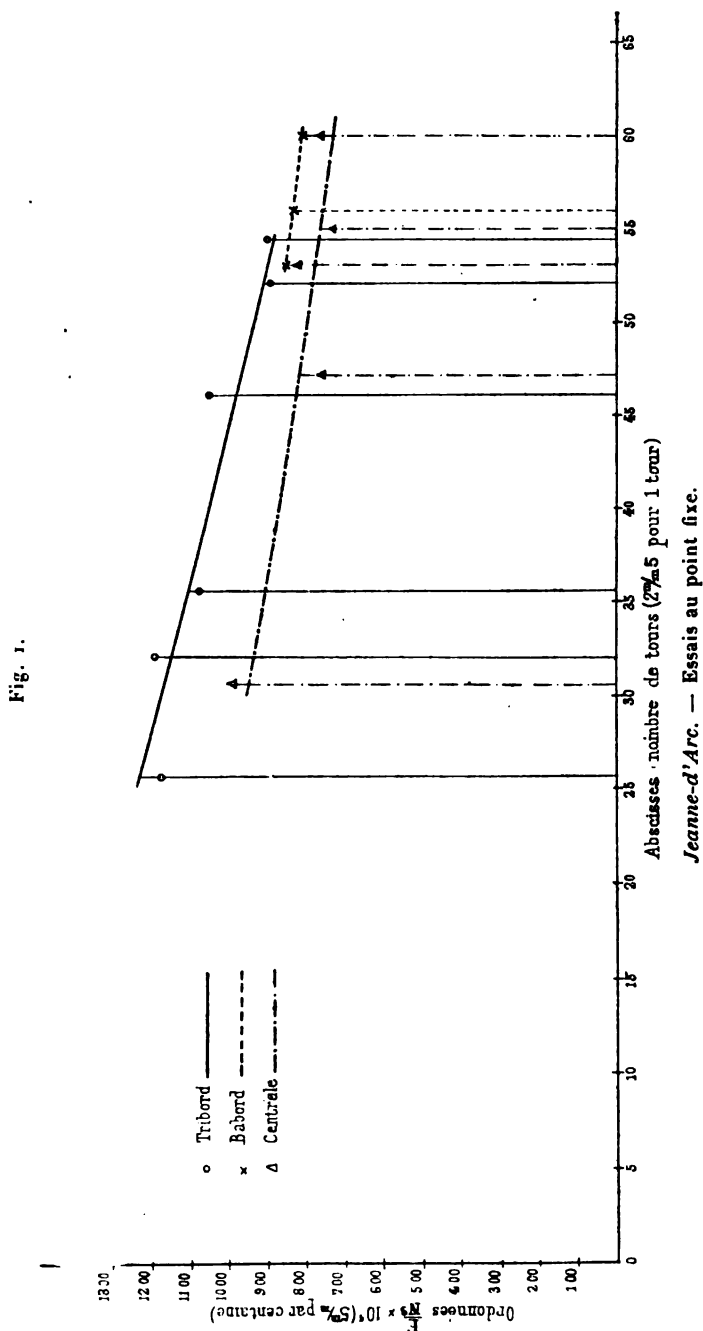
Jeanne-d'Arc. — Essais au point fixe.

MACHINE TRIBORD seule en marche.				MACHINE BABORD seule en marche.				MACHINE CENTRALE seule en marche.			
F.	N.	$\frac{F}{N^2} \times 10^5$.	Observations.	F.	N.	$\frac{F}{N^2} \times 10^5$.	Observations.	N.	F.	$\frac{F}{N^2} \times 10^5$.	Observations.
200	25,5	1210	1 courbe	1310	53	880	Moyenne de 5 courbes.	288	30,5	1020	1 courbe.
400	32	1220	Moyenne de 2 courbes.	1510	56	860	Moyenne de 3 courbes.	810	47	780	Moyenne de 2 courbes.
500	35,5	1120	Moyenne de 2 courbes.	1825	60	845	Moyenne de 4 courbes.	1260	53	845	Moyenne de 6 courbes.
1050	46	1080	1 courbe					1270	55	765	Moyenne de 3 courbes.
1320	52	940	Moyenne de 4 courbes.								
1515	54,5	940	1 courbe.					1685	60	780	1 courbe.

TABEAU IV.
Jeanne-d'Arc. — Essais en route libre.

R. m	P. Puissance totale.	TRIBORD.				BABORD.				CENTRALE.				$A_p \times 10^4$	β .	ρ .	OBSERVATIONS.
		F.	N.	$\sum \left(\frac{v}{u} \right) \times \left(\frac{v}{u} \right)$	$A \times 10^4$.	F.	N.	$\sum \left(\frac{v}{u} \right) \times \left(\frac{v}{u} \right)$	$A \times 10^4$.	F.	N.	$\sum \left(\frac{v}{u} \right) \times \left(\frac{v}{u} \right)$	$A \times 10^4$.				
115	3720	1055	69	320	93	1345	73,5	340	99	1320	73	340	115	96	1,03	1,20	1 courbe. Essai préliminaire du 2 octobre 1902.
115	7580	2390	89	340	99	2500	91	330	96	2690	89,5	375	127	97,5	1,12	1,30	Moyenne de 3 courbes. Essai préliminaire du 31 octobre 1902.
115	9060	3270	99	338	98	3120	99	320	93	3570	98	380	128	95,5	1,16	1,34	Moyenne de 3 courbes. Essai préliminaire du 31 octobre 1902.
118	17250	5730	118	350	100	5830	118	355	102	5690	114,5	380	127	101	1,08	1,25	Essai officiel de 24 h. (21-22 février 1903.)
119	20050	6595	122,5	358	103	6325	122	350	100	7130	120,5	408	136	101,5	1,16	1,34	Essai officiel de 6 h. (16 décembre 1902.)
119	28835	10165	136,5	400	115	9450	137,5	364	105	9220	133,5	388	130	110	1,02	1,18	Essai officiel à l'ou- trance de 3 heures. (23 janvier 1903.)

Observations sur les tableaux III et IV. — 1° Nous avons porté en courbes (fig. 1) les résistances brutes des trois hélices marchant séparé-



ment. On voit qu'à nombre de tours égal l'hélice centrale a une résistance

brute inférieure à celle des hélices latérales. A noter que, dans les limites de ces essais, la résistance brute de chaque hélice diminue à mesure que l'allure augmente. La raison en est peut-être dans les augmentations simultanées du rendement mécanique et de l'allure.

2° En route libre, au contraire, la résistance brute de la machine centrale est supérieure à celle des hélices latérales. Le coefficient de résistance relative est *a fortiori* supérieur à l'unité. Cette augmentation de résistance de l'hélice centrale en route libre se produit pour des puissances individuelles des machines peu différentes des puissances maxima développées au point fixe. Elle a même lieu pour des puissances individuelles plus faibles que ces dernières puissances, si l'on admet l'exactitude de la courbe à 3700^{chx}, la seule que nous ayons pour ces faibles allures.

Léon-Gambetta. — Les hélices du *Léon-Gambetta* ont les mêmes caractéristiques que celles du *Jules-Ferry*. Ces dernières ont été indiquées plus haut.

Nous donnons dans les tableaux V et VI des résultats d'essais au point fixe et en route libre de ce croiseur-cuirassé.

TABLEAU V.
Léon-Gambetta. — *Essais au point fixe.*

MACHINE TRIBORD seule en marche.				MACHINE BABORD seule en marche.				MACHINE CENTRALE seule en marche.			
F.	N.	$\frac{F}{N^2} \times 10^4.$	OBSERVATIONS.	F.	N.	$\frac{F}{N^2} \times 10^4.$	OBSERVATIONS.	F.	N.	$\frac{F}{N^2} \times 10^4.$	OBSERVATIONS.
2270	56,25	1275	Moyenne d'une série de courbes pour 1 essai de 3 heures.	2730	57	1480	Moyenne d'une série de courbes pour 1 essai de 3 heures.	2515	59	1230	Moyenne d'une série de courbes pour 1 essai de 3 heures.
4505	69	1370	Moyenne d'une série de courbes pour 1 essai de 4 heures 45 minutes.	4090	66	1420	Moyenne d'une série de courbes pour 1 essai de 5 heures.	4085	69	1240	Moyenne d'une série de courbes pour 1 essai de 5 heures.

TABLEAU VI.

Léon-Gambetta, — *Essais en route libre.*

B.	Fr. Puissance totale.	TRIBORD.			BABORD.			CENTRALE.			$A_m \times 10^4$	β .	ρ .	OBSERVATIONS.
		F.	N.	$\frac{\sum}{n} \times \left(\frac{1}{\Delta \frac{1}{V}} \right)$	F.	N.	$\frac{\sum}{n} \times \left(\frac{1}{\Delta \frac{1}{V}} \right)$	F.	N.	$\frac{\sum}{n} \times \left(\frac{1}{\Delta \frac{1}{V}} \right)$				
"	10190	3340	93,5	410	3360	94	405	3490	90,5	470	"	1,15	1,29	Essai officiel de 8 h. (22-23 juillet 1905.)
"	15930	5670	108	450	5080	106	425	5180	101,5	495	"	1,13	1,26	Essai officiel de 4 h. (24 juin 1905.)
m^3 137,5	16060	5225	107,5	420	5510	109	425	5335	103,5	480	84,5	1,14	1,28	Essai officiel de 24 h. (6 et 7 avril 1905.)
136	16195	5415	108,5	425	5260	108	415	5520	103,5	495	84	1,18	1,32	Essai officiel de 24 h. (18-19 avril 1905.)
"	26140	8730	123,5	465	8820	124,5	460	8590	120	500	"	1,08	1,21	Essai officiel de 2 h. (24 juillet 1905.)
m^3 141,5	27910	9410	126,25	470	9420	127,5	455	9080	121,5	505	91,5	1,09	1,22	Essai officiel de 3 h. (22 avril 1905.)

Observations sur les tableaux V et VI. — 1° Au point fixe, la résistance brute de l'hélice centrale est inférieure à celle des hélices latérales. En route libre c'est l'inverse, même à des puissances individuelles des machines inférieures à celles développées au point fixe.

2° La loi de variation du coefficient ρ avec l'allure semble être une diminution de ce coefficient quand l'allure augmente. Il faut remarquer cependant que les valeurs de ρ des essais du 24 juillet 1905 et du 22 avril 1905 sont un peu faibles, car la machine centrale est plus ou moins entraînée par les latérales. Ce fait ne permet pas d'être certain de la loi de variation. Nous admettrons toutefois que le coefficient ρ diminue, ou en tout cas augmente peu quand l'allure augmente.

Jules-Ferry. — Nous avons donné les caractéristiques des hélices de ce bâtiment. Nous ajouterons les renseignements suivants sur leurs positions relatives. Les axes des trois hélices sont dans le même plan parallèle à la flottaison, les axes des arbres latéraux sont à 5^m, 25 de l'axe de l'arbre central, les plans de l'avant des moyeux des hélices latérales sont à 9^m, 30 sur l'avant du plan de l'avant du moyeu de l'hélice centrale.

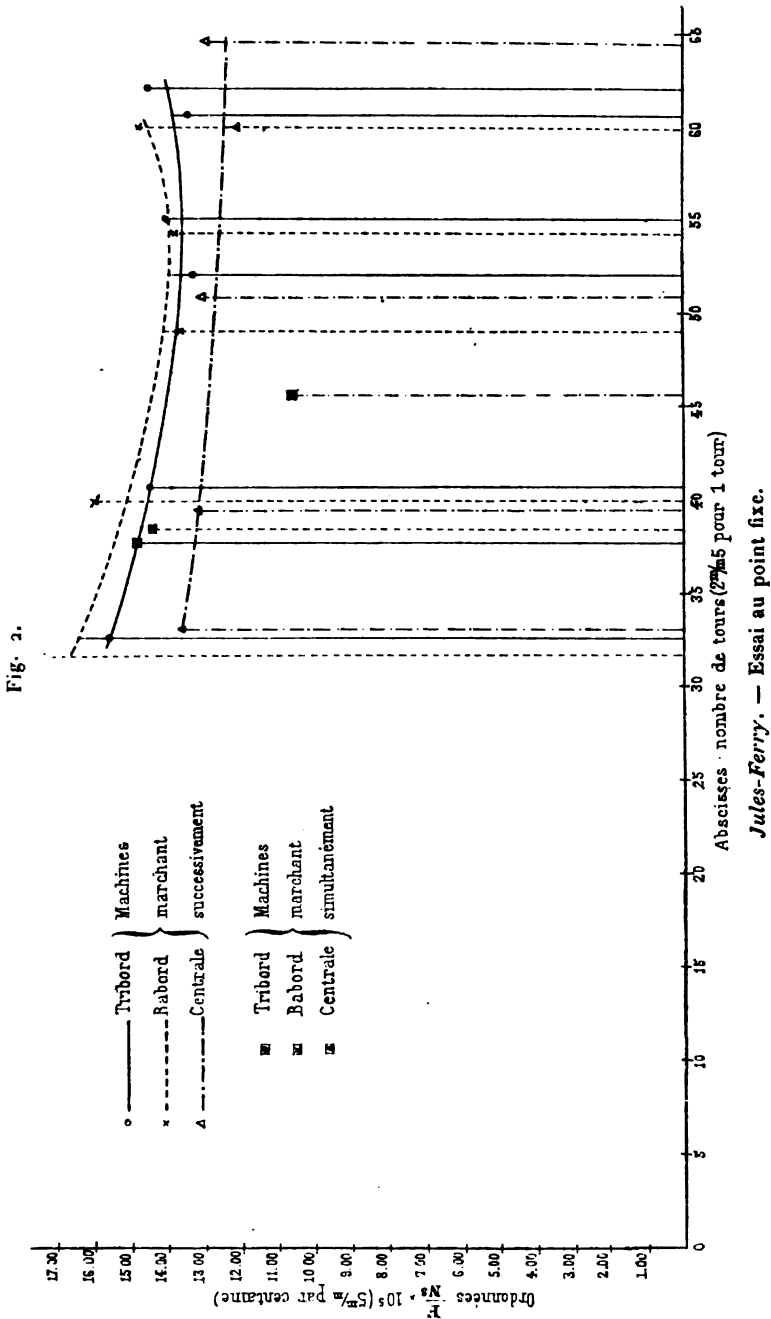
Nous avons été chargé de diriger les essais de ce bâtiment, et nous avons pu combiner le programme des essais au point fixe, de façon à y comprendre un essai de longue durée avec les trois machines en marche simultanément. Malheureusement, nous n'avons pas pu faire cet essai à une puissance aussi élevée que nous l'aurions désiré. Les conditions de la chauffe nous obligeaient à choisir entre les puissances de 2500^{chx} et 5000^{chx}. Nous avons dû nous limiter à la première de ces puissances, de peur d'endommager les portes des bassins de radoub, devant lesquels le bâtiment était amarré. Aux essais au point fixe précédents, où les machines avaient marché successivement, des craintes avaient été émises sur la résistance de ces portes. Cet essai, avec toutes les machines en marche, nous a néanmoins donné un résultat intéressant.

Nous indiquerons dans les tableaux VII et VIII les résultats des essais au point fixe (machines marchant successivement et simultanément), et de divers essais en route libre.

TABEAU VIII.
Jules-Ferry. — Essais en route libre.

R.	F. _T Puissance totale.	TRIBORD.			BABORD.			CENTRALE.				$\sum \frac{1}{2} \sum V$	P.	OBSERVATIONS.
		F.	N.	$\sum \frac{1}{2} \sum \left(\frac{V}{\Delta t} \right)^2$	F.	N.	$\sum \frac{1}{2} \sum \left(\frac{V}{\Delta t} \right)^2$	F.	N.	$\sum \frac{1}{2} \sum \left(\frac{V}{\Delta t} \right)^2$	$\sum \frac{1}{2} \sum V$			
130	1285	400	40	625	490	41	710	395	38	667,5	164	136	1,20	1 courbe prise à l'essai du 2 août 1905.
137	781,5	2420	86,5	375	2705	88,5	390	2690	84,5	381,5	101	76,5	1,32	Essai officiel : 1 ^{re} , du 14 novembre 1903.
140	16230	5330	109	410	5290	109	405	5610	105,5	407,5	106	80,5	1,32	Essai officiel de 2 ^{de} des 21 et 22 novembre 1903.
149	16830	5815	109,5	445	5235	108	415	5770	103,5	430	118	88	1,21	Essai préliminaire du 17 avril 1905, durée : 6 heures.
154	26740	9030	124,5	470	8860	124	465	8850	118	467,5	122	93,5	1,30	Essai préliminaire du 8 septembre 1905, durée : 1 heure.

Observations sur les tableaux VII et VIII. — 1° Au point fixe, quand les machines marchent successivement, la résistance brute de l'hélice centrale



est inférieure à celle des hélices latérales. La figure 2, où ces résistances sont portées en courbes, le montre nettement.

2° Toujours au point fixe, quand les machines marchent simultanément, la résistance brute de l'hélice centrale est encore inférieure à celle des hélices latérales. Mais en outre, dans ce cas, cette résistance brute de l'hélice centrale a une valeur inférieure à celle qu'elle offre, à égalité d'allure, lorsque la machine centrale est seule en marche (voir *fig. 2*). Ce résultat est intéressant.

3° En route libre, la résistance brute de l'hélice centrale et *a fortiori* son coefficient de résistance deviennent supérieurs respectivement aux résistances brutes et coefficients de résistance des hélices latérales.

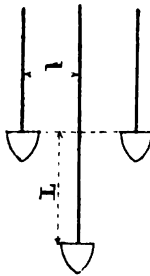
4° Cette augmentation de résistance de l'hélice centrale en route libre par rapport au point fixe se reconnaît même sur la courbe prise à l'essai du 2 août 1905. Pour cette courbe, la puissance totale est inférieure à celle développée le 21 janvier 1905 au point fixe, et le nombre de tours moyen est sensiblement voisin de celui de cet essai. Nous regrettons de n'avoir à cette allure qu'une courbe. Mais les circonstances ne nous ont pas permis d'en relever davantage. Nous discuterons du reste plus loin cette question.

Condé, Amiral-Aube, Gloire, Sully, Marseillaise. — Ces cinq croiseurs ont des coques pratiquement identiques. Leurs hélices sont très peu différentes (tableau IX). La seule différence notable que présentent ces bâtiments dans leur coque et leurs hélices réside dans la position des hélices latérales par rapport à l'hélice centrale. Dans les trois premiers bâtiments, les hélices latérales sont à une distance plus grande sur l'avant de l'hélice centrale que dans les deux derniers (tableau IX). Nous avons recherché si cette différence avait une action sur la résistance de l'hélice centrale. Nous donnons dans le tableau X les résultats d'essais officiels de ces croiseurs étudiés à ce point de vue.

(a). — *Caractéristiques.*

	CONDÉ.			AMIRAL-AUBE ET MARSEILLAISE.			GLOIRE.			SULLY.		
	Tribord.	Bâbord.	Centrale.	Tribord.	Bâbord.	Centrale.	Tribord.	Bâbord.	Centrale.	Tribord.	Bâbord.	Centrale.
Diamètre D.....	4 ^m , 6	4 ^m , 6	4 ^m , 55	4 ^m , 628	4 ^m , 628	4 ^m , 578	4 ^m , 60	4 ^m , 60	4 ^m , 55	4 ^m , 591	4 ^m , 586	4 ^m , 573
Pas H.....	5 ^m , 187	5 ^m , 187	5 ^m , 187	5 ^m , 30	5 ^m , 30	5 ^m , 30	5 ^m , 204 (relevé)	5 ^m , 219 (relevé)	5 ^m , 218 (relevé)	5 ^m , 199	5 ^m , 208	5 ^m , 206
Fraction de pas <i>f</i>	0,282	0,282	0,282	0,245	0,245	0,245	0,260 (relevé)	0,260 (relevé)	0,260 (relevé)	0,257	0,254	0,256
Nombre d'ailes <i>n</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$K = 10^3 H : f^3 n^6$	745	745	725	750	750	730	730	735	725	725	720	717

(b). — *Disposition des hélices.*



	L_c	L_c	L_c
	Distance des plans <i>N</i> des moyeux.	Distance des axes des arbres.	
Condé.....	m 9,335		4,900
Amiral-Aube.....	9,05		4,900
Gloire.....	7,25		4,900
Sully.....	4,535		4,900
Marseillaise.....	4,25		4,900

Nota. — Les axes des trois hélices sont dans un même plan parallèle à la flottaison.

(c). — *Distance des bords des hélices latérales à la coque.*

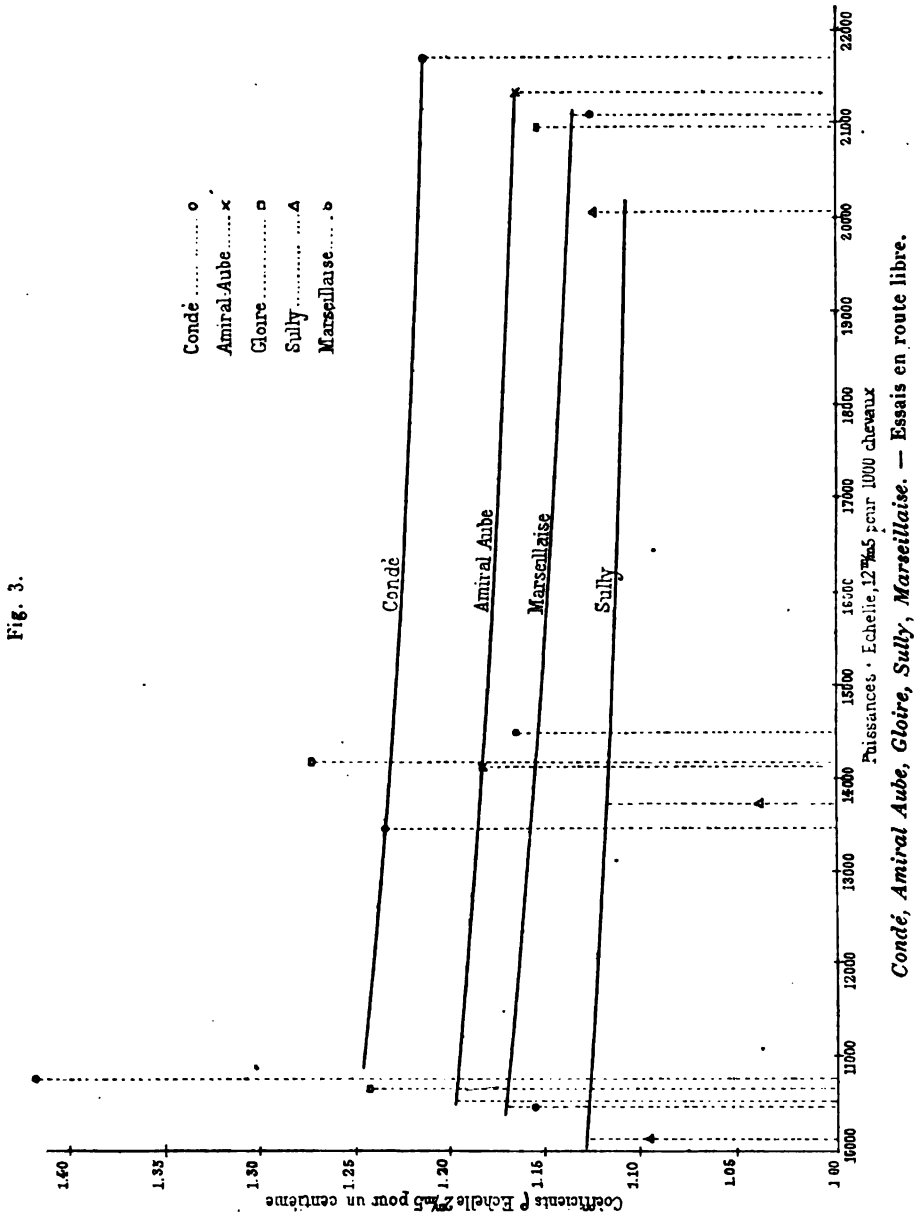
	<i>d.</i>
Condé.....	m 1,00
Amiral-Aube.....	1,00
Gloire.....	1,30
Sully.....	2,00
Marseillaise.....	2,00

TABLEAU X.

N ^o .	F _T . Puissance totale.	TRIORD.			BABORD.			CENTRALE.			β.	p.	OBSERVATIONS.					
		F.	N.	$\frac{\sum X}{\sum X^2}$	F.	N.	$\frac{\sum X}{\sum X^2}$	F.	N.	$\frac{\sum X}{\sum X^2}$								
Condé. — Essais en route libre.																		
118	10740	3190	115	210	83	3380	116	216	85	4170	112,5	295	130	213	84	1,38	1,42	Essai officiel de 24 h. 14 et 15 mai 1904.
116	13465	4240	123,5	225	89	4430	124,5	230	91	4795	122,5	275	112	227,5	90	1,21	1,24	Essai offic., durée: 6 h., 25 mars 1904.
119	21595	7140	144	240	95	7230	144,5	240	95	7225	136,5	285	116	240	95	1,19	1,22	Essai offic. à outrance, 11 mai 1904, dur.: 3 h.
Amiral-Aube. — Essais en route libre.																		
115	10525	3380	115	222	88	3550	114	240	95	3545	110	270	110	231	91,5	1,17	1,20	Essai officiel de 24 h., 12 et 13 nov. 1903.
115	14115	4520	123,5	240	95	4775	124,5	247	98	4820	119,5	283	115	243,5	96,5	1,16	1,19	Essai offic., durée: 6 h., du 5 novembre 1903.
116	21350	6970	143	238	95	7215	143,5	244	97	7165	137,5	275	112	241	96	1,14	1,17	Ess. of. du 17 déc. 1903, durée: 3 h.
Gloire. — Essais en route libre.																		
115	10655	3460	114,5	230	93	3500	116	225	91	3695	109,5	280	115	227,5	92	1,23	1,25	Essai officiel de 24 h., 18 et 19 février 1904.
115	14110	4925	125,5	248	101	4220	124,5	220	89	4965	119	296	122	234	95	1,26	1,28	Essai offic., durée: 6 h., du 23 janvier 1904.
114	20990	7435	141,5	262	107	6620	141,5	235	95	6935	135	283	117	248,5	101	1,14	1,16	Essai offic. du 19 janv. 1904, durée: 3 h.
Sully. — Essais en route libre.																		
119	10115	3275	114	220	89	3490	112,5	245	100	3350	109,5	255	104	232,5	94,5	1,10	1,10	Essai officiel de 24 h., 27 et 28 juin 1903.
119	13727	4810	126	240	97	4862	124,25	255	104	4055	116,5	257	105	247,5	100,5	1,04	1,04	Essai offic., durée: 6 h., du 10 juin 1903.
119	20635	6290	140,5	227	92	6970	141	250	102	6775	136	270	110	238,5	97	1,13	1,13	Ess. off. du 23 mai 1903, durée: 3 h.
Marsaillaise. — Essais en route libre.																		
116	10460	3385	112,5	237	93,5	3705	114,5	247	97,5	3370	107,5	272	111	242	95,5	1,13	1,16	Essai officiel de 24 h., 25 et 26 juin 1903.
115	14440	4670	124,5	244	96	5040	125	258	101	4740	118,5	285	115	250	98,5	1,14	1,17	Essai offic., durée: 6 h., du 5 juillet 1903.

Observations sur le tableau X. — 1° Nous avons porté en courbes (fig. 3) les valeurs de ρ , mais en tenant compte de certaines particularités des essais :

Condé. — A l'essai à 10000^{chx}, la machine centrale fait 800^{chx} à 1000^{chx} de



plus que chacune des latérales. Elle les entraîne fortement. La valeur de ρ est trop forte, et le point correspondant doit être abandonné.

Gloire. — Les trois points représentatifs des essais sont disposés d'une manière anormale. Il y a du reste des irrégularités dans les résultats de ces essais. Ainsi à toute puissance, pour le même nombre de tours, les machines latérales développent des puissances fort différentes. Par suite, nous n'avons pas réuni ces points par une courbe.

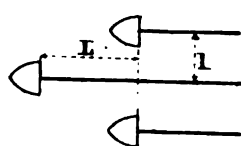
Sully. — A 14000^{ch} la machine centrale est entraînée, la valeur de ρ est trop faible, le point correspondant doit être abandonné.

2° Qu'on tienne ou qu'on ne tienne pas compte des observations précédentes, on voit que, à des puissances égales, les valeurs de β et de ρ sont plus fortes pour les bâtiments à hélices latérales avancées que pour les autres.

3° Pour la *Marseillaise* et surtout pour l'*Amiral-Aube*, la loi de variation du coefficient ρ est assez nette. Il diminue quand l'allure augmente.

Châteaurenault. *Guichen*. — Les coques de ces deux croiseurs sans être pratiquement identiques, comme celles des cinq croiseurs dont nous venons de parler, sont peu différentes (voir tableau XI).

Mais il existe dans l'installation de leurs hélices une différence notable, qui fut très remarquée au moment de leurs essais. Les hélices latérales sont plus éloignées de l'hélice centrale sur le *Châteaurenault* que sur le *Guichen*. Voici, en effet, les cotes de position relative des hélices de ces deux croiseurs.

	L. Distance des plans A des moyeux.	l. Distance des axes des arbres latéraux à l'axe de l'arbre central.	OBSERVATIONS.	
	Châteaurenault.....	8 ^m , 24	3 ^m , 52	L'axe de l'hélice centrale est à 30 ^{cm} environ au-dessous des hélices latérales.
	Guichen	3 ^m , 60	4 ^m , 80	Les axes des trois hélices sont dans le même plan.

Le tableau XII donne, par ailleurs, les caractéristiques des hélices. Sur le *Châteaurenault* l'hélice centrale a été remplacée après rupture d'une aile. Sur le *Guichen* les hélices primitives ont été modifiées puis changées.

Enfin les distances des bords des hélices latérales à la coque sont sur le *Châteaurenault* de 0^m, 65 et sur le *Guichen* de 2^m, 225 (hélices primitives modifiées), et de 2^m (hélices actuelles).

Nous avons, dans le même ordre d'idées que pour les précédents, recherché si cette différence dans l'installation des hélices n'était pas connexe d'une différence dans la résistance de l'hélice centrale par rapport aux latérales, et

nous donnons dans le tableau XIII des résultats d'essais. Sur le *Guichen* il ne fut fait que quelques essais préliminaires avec les hélices primitives non modifiées, nous ne les indiquons pas.

TABLEAU XI.

		CHATEAURENAULT.	GUICHEN.
Longueur entre perpendiculaires.....	Λ	135 ^m	133 ^m
Largeur extérieure maxima au fort situé à la flottaison en charge.....	l	17 ^m	16 ^m , 71
Profondeur de la carène au milieu.....	p	6 ^m , 7	7 ^m , 2
Volume de la carène (sans appendices).....	V	7800 ^{m³}	8045 ^{m³}
Surface immergée du couple milieu (sans appendices).....	B^2	99,5	101,5
Surface de la flottaison en charge.....	Σ	152,8	157,8
Rapports.....	$\frac{V}{\Lambda l p}$	0,507	0,503
	$\frac{V}{B^2 \Lambda}$	0,581	0,593
	$\frac{\Sigma}{\Lambda l}$	0,666	0,710

TABLEAU XII.

(a). — *Caractéristiques des hélices du Châteaurenault.*

	TRIBORD.	BABORD.	CENTRALE	
			primitive.	actuelle.
Diamètre D.....	4,8	4,8	4,60	4,40
Pas H.....	6,558 (relevé)	6,541 (relevé)	6,705 (relevé)	6,400 (relevé)
Fraction de pas f	0,300	0,300	0,300	0,233
Nombre d'ailes n	3	3	3	4
$K = D^{\frac{1}{2}} H^2 f^{\frac{1}{2}} n^{\frac{1}{2}}$	1340	1335	1275	1000

(b). — *Caractéristiques des hélices du Guichen.*

	HÉLICES LATÉRALES MODIFIÉES.			HÉLICES ACTUELLEMENT EN PLACE.		
	Tribord.	Bâbord.	Centrale.	Tribord.	Bâbord.	Centrale.
Diamètre D.....	4 ^m , 55	4 ^m , 55	4 ^m , 55	5 ^m	5 ^m	4 ^m , 7
Pas H.....	6 ^m , 19	6 ^m , 19	5 ^m , 82	5 ^m , 92	5 ^m , 92	5 ^m , 92
Fraction de pas f	0,214	0,214	0,2095	0,225	0,225	0,225
Nombre d'ailes n	3	3	3	3	3	3
$K = D^{\frac{1}{2}} H^2 f^{\frac{1}{2}} n^{\frac{1}{2}}$	945	945	830	1095	1095	945

TABLEAU XIII.

H.	F. Puissance totale.	TRIBORD.			BABORD.			CENTRALE.			$\Delta \times 10^3$	β .	ρ .	OBSERVATIONS.
		F.	N.	$\frac{1}{\Delta} \times \left(\frac{1}{\Delta} \right)$	F.	N.	$\frac{1}{\Delta} \times \left(\frac{1}{\Delta} \right)$	F.	N.	$\frac{1}{\Delta} \times \left(\frac{1}{\Delta} \right)$				

Châteaurenault. — ESSAIS EN ROUTE LIBRE.

Essais avec l'hélice centrale primitive.

97	7510	2310	93,5	282	66	257,5	95	275	64	284,5	88	415	101	278,5	65	1,50	1,57	Essai du 11 juillet 1900, durée : 6 h.
97	13720	4620	114,5	307	72	4500	115	297	70	4600	103	420	103	302	71	1,39	1,45	Essai des 20 et 21 juillet 1900, durée 24 h.
97	16655	5045	115,5	330	77	4855	117	304	71	4765	103,5	430	106	317	74	1,36	1,43	Essai des 21 et 22 août 1900, durée : 24 h.
97	18355	6240	120	360	84	6065	121	340	80	6050	109	465	114	350	82	1,33	1,39	Essai du 26 oct. 1900, durée : 6 h.
99	13180	7195	131	320	75	7855	133	334	78	8130	123	440	108	327	76,5	1,34	1,41	Essai du 22 août 1901, durée : 3 h.

Essais avec la nouvelle hélice centrale.

98	14200	4620	113	320	75	4670	113	325	76	4910	113	340	106	322,5	75,5	1,05	1,40	Essai du 25 juillet 1902.
98	24200	8625	133	368	85	8260	134	345	80	7315	120,5	340	106	356,5	83	0,95	1,28	

Guichen. — ESSAIS EN ROUTE LIBRE.

Essais avec les hélices primitives modifiées.

98	9135	3013	95,5	346	114	3130	95,75	356	117	2990	93	370	139	351	115,5	1,05	1,20	Ess. offic., durée : 6 h. du 1 ^{er} juin 1899.
97	15205	5105	114	350	116	5045	114	340	113	4965	111,5	356	134	345	114,5	1,03	1,17	Ess. offic., durée : 24 h. des 11 et 12 juill. 1899.
98	18200	6065	120	350	115	6165	121	346	114	6060	119	360	135	548	114,5	1,04	1,18	Ess. offic., durée : 6 h. du 27 juin 1899.

Essais avec les hélices actuelles.

98	11475	4010	107,5	324	92,5	3405	104,5	300	85,5	4060	106	340	112	312	89	1,09	1,26	Ess. offic., durée : 4 h. du 16 janvier 1900.
98	14555	4660	114	315	90	4715	114	319	91	4780	113,5	326	108	317	90,5	1,03	1,20	Essai officiel, durée : 3 h. 30 m. du 2 mars 1900.
99	14080	8180	136,5	312	94	7950	137,5	306	87	8850	136,5	350	116	314	89,5	1,11	1,30	Ess. offic., à outrance : 3 h. du 10 nov. 1899.

Observations sur le tableau XIII. — 1° Des remarques sont à faire sur certaines valeurs de ρ (voir *fig.* 4).

Pour le *Châteaurenault*, la valeur de ρ à la marche de 24200^{chx} du 5 juillet 1902 est trop faible, la machine centrale étant notablement entraînée.

Pour le *Guichen* à l'essai à 25000^{chx}, c'est au contraire la machine centrale qui entraîne les deux autres, la valeur de ρ est trop forte.

2° En tenant compte de ces observations, on voit que les valeurs de ρ sont plus fortes pour le *Châteaurenault* que pour le *Guichen*.

Sur le *Châteaurenault* (hélice centrale primitive), le coefficient ρ diminue à peu près régulièrement quand l'allure augmente.

Discussion et conséquences déduites des résultats d'essais,

Nous avons, dans le chapitre précédent, exposé simplement des résultats d'essais. Chacun en pourra tirer les conséquences qu'il voudra. Pour nous, voici ce que nous croyons pouvoir dire :

1° Au point fixe, quand les machines marchent successivement, l'augmentation de résistance reconnue en route libre pour l'hélice centrale ne se produit pas. Les résultats des essais de la *Jeanne-d'Arc*, du *Léon-Gambetta*, du *Jules-Ferry* montrent que le fait a lieu pour des puissances individuelles égales des machines au point fixe et en route libre. Nous avons par ailleurs constaté le même fait sur d'autres bâtiments de types différents, par exemple sur le cuirassé *Suffren*, et sur le croiseur-protégé *Jurien-de-la-Gravière*. Nous n'avons pas donné les résultats d'essais de ces derniers bâtiments, pour ne pas allonger outre mesure cette note.

De ces constatations, nous déduisons que l'action de la *coque au repos* (et par là nous entendons par exemple l'action du gouvernail, l'effet de la voûte produit par les formes de l'arrière, etc.) n'a pas sur le phénomène qui nous occupe une influence sensible.

2° Au point fixe, quand les trois machines marchent simultanément, et que les hélices latérales sont sur l'avant de l'hélice centrale, non seulement l'augmentation de résistance de l'hélice centrale ne se fait pas sentir, mais encore la résistance brute de cette hélice est plus faible que quand la machine centrale marche seule.

Ce fait est mis en évidence par la comparaison des résultats des essais au point fixe du *Jules-Ferry*. On peut du reste avoir quelque confiance dans cette comparaison. Les courbes ont en effet été prises et calculées pendant tous les essais par le même personnel exercé, qui procède d'habitude à ces opérations pendant les essais de machines. Par ailleurs l'essai du 21 janvier 1905 a été de longue durée, et les résultats donnés sont les moyennes de dix courbes prises à des allures sensiblement égales.

De ce fait, que nous regardons comme acquis, nous ne voyons d'autre explication que la réaction des hélices latérales sur l'hélice centrale.

Mais, si nous admettons une action dans ce sens des hélices latérales sur la centrale, il en résulte naturellement que si, toutes choses égales ou sensiblement égales par ailleurs, on vient à diminuer cette action des hélices latérales, la résistance de l'hélice centrale va augmenter.

C'est bien en effet ce que l'on constate sur les croiseurs-cuirassés de la classe du *Condé*. C'est aussi ce que l'on constate sur les croiseurs-protégés *Châteaurenault* et *Guichen*.

Pour les croiseurs-cuirassés, la constatation a une assez grande valeur, étant donné que la disposition relative des hélices est la seule différence notable que présente l'ensemble de la coque et des hélices. En outre, les hélices étant peu différentes, la comparaison des valeurs de β et de ρ peut se faire dans de bonnes conditions. Les valeurs de β mesurent assez bien l'augmentation de résistance de l'hélice centrale, et la comparaison des valeurs de ρ est peu influencée par la plus ou moins grande exactitude de la formule de Moll.

Pour le *Châteaurenault* et le *Guichen*, l'exemple est moins probant, les coques et les hélices présentant quelque différence. Néanmoins ce n'est peut-être pas par simple coïncidence que le croiseur à plus grand écartement d'hélices a également le plus fort coefficient de résistance de l'hélice centrale.

Nous ajouterons au sujet de ces deux exemples l'observation suivante. La plus grande résistance relative de l'hélice centrale, sur les croiseurs à hélices latérales avancées, ne peut pas s'expliquer par une action du sillage plus forte sur les hélices latérales ainsi avancées, que sur celles des autres croiseurs. Cette plus grande action diminuerait au contraire la différence de résistance des hélices latérales et centrale.

Somme toute, nous admettons que, lorsque les hélices latérales sont sur l'avant de l'hélice centrale, leur réaction sur cette dernière diminue sa résistance.

3° Il n'en reste pas moins acquis que, en route libre, le coefficient de résistance relative de l'hélice centrale est supérieur à l'unité.

Cette augmentation de résistance a été reconnue même à des nombres de tours pour lesquels au point fixe, les trois machines fonctionnant simultanément, on a constaté au contraire une diminution de résistance. Elle n'est donc pas due à l'action des hélices latérales. Cette conclusion n'est basée à la vérité que sur une courbe. Mais nous croyons qu'on peut accorder quelque créance aux résultats qu'elle donne. D'abord elle a été prise par un personnel exercé. Ensuite il est très naturel de penser que, même à faible puissance, l'augmentation de résistance de l'hélice centrale doit se manifester. En effet, sur le *Jules-Ferry* lui-même, le coefficient ρ varie peu quand l'allure varie. Sur le *Léon-Gambetta* ce coefficient a plutôt tendance à augmenter, quand l'allure

diminue; sur la *Marseillaise*, sur l'*Amiral-Aube*, sur le *Châteaurenault* il diminue nettement quand l'allure décroît. Par ailleurs il faut noter que, au moment de la prise de la courbe en question, la machine bâbord entraînait les deux autres. Il est probable que, si les machines avaient été bien réglées à la même puissance, la valeur de ρ aurait été plus forte. Elle se serait rapprochée de la valeur sensiblement constante trouvée aux autres essais, et l'aurait peut-être même dépassée, comme on pouvait s'y attendre d'après les résultats des autres bâtiments.

Du reste, si l'on admet comme suffisamment démontré par le dernier paragraphe que la réaction des hélices latérales diminue à toutes les allures la résistance de l'hélice centrale, on peut laisser de côté les indications de cette courbe unique. La cause du phénomène qui nous occupe devra être cherchée ailleurs que dans la réaction des hélices latérales.

Nous ne voyons d'ailleurs pas d'autre explication que celle de l'action du mouvement de la coque, ou si l'on veut de la *coque en mouvement* par opposition avec l'action de la *coque au repos*.

Comment cette action s'exerce-t-elle? Pour répondre à cette question nous nous rallierons à l'hypothèse souvent émise du sillage. Nous dirons donc que l'augmentation de résistance de l'hélice centrale des bâtiment à trois hélices est produite par l'action du sillage sur l'hélice centrale, ou mieux par la différence des actions de ce sillage sur les hélices latérales et centrale.

4^e On se trouve donc en somme en présence de deux actions contraires : la réaction des hélices latérales sur l'hélice centrale, quand elles sont, comme c'est le cas général, sur l'avant de cette dernière, réaction qui diminue la résistance de l'hélice centrale, et la différence d'action du sillage sur les trois hélices, qui augmente au contraire cette résistance.

Le coefficient de résistance relative de l'hélice centrale dépend de la différence de ces deux actions. En général la seconde l'emporte sur la première, et le coefficient est supérieur à l'unité. On conçoit pourtant que l'inverse puisse se produire. On aurait alors une hélice centrale d'une résistance relative inférieure à celle des hélices latérales.

Par ailleurs nous avons vu des exemples où le coefficient de résistance relative diminuait quand l'allure augmentait. Cela peut s'expliquer soit par une variation de l'action des hélices latérales, soit par une variation de l'action de la coque. Il peut se faire, par exemple, que l'action des hélices latérales augmente quand l'allure augmente, l'eau étant rejetée plus fortement en arrière à grande allure, et en outre l'hélice centrale arrivant plus rapidement dans les eaux les plus troublées. Il peut se faire aussi que la différence de l'action du sillage sur les trois hélices diminue quand l'allure augmente, cette action du sillage pouvant être plus fortement ressentie à grande allure par les hélices latérales. Ces variations de l'action des hélices latérales et de la coque expliqueraient l'une et l'autre la diminution de la résistance relative de l'hélice centrale quand l'allure augmente.

5° Pour diminuer la résistance de l'hélice centrale, M. Laubeuf ⁽¹⁾ a préconisé de diminuer le pas de cette hélice. Cette pratique qui a été suivie, et tend, croyons-nous, de plus en plus à l'être, concorde avec ce qui précède.

6° Nous reconnaissons bien volontiers que ces déductions, comme toutes celles tirées de résultats expérimentaux, gagneraient à être contrôlées par des résultats autres que ceux exposés plus haut. En particulier, il serait très intéressant de faire des essais au point fixe à forte puissance, avec les trois machines marchant simultanément. Ce n'est malheureusement pas toujours possible (résistance des points d'attache, résistance des quais et de leurs accessoires).

Conclusions.

Pour nous résumer, nous énoncerons, sous réserve de vérifications ultérieures, les conclusions suivantes :

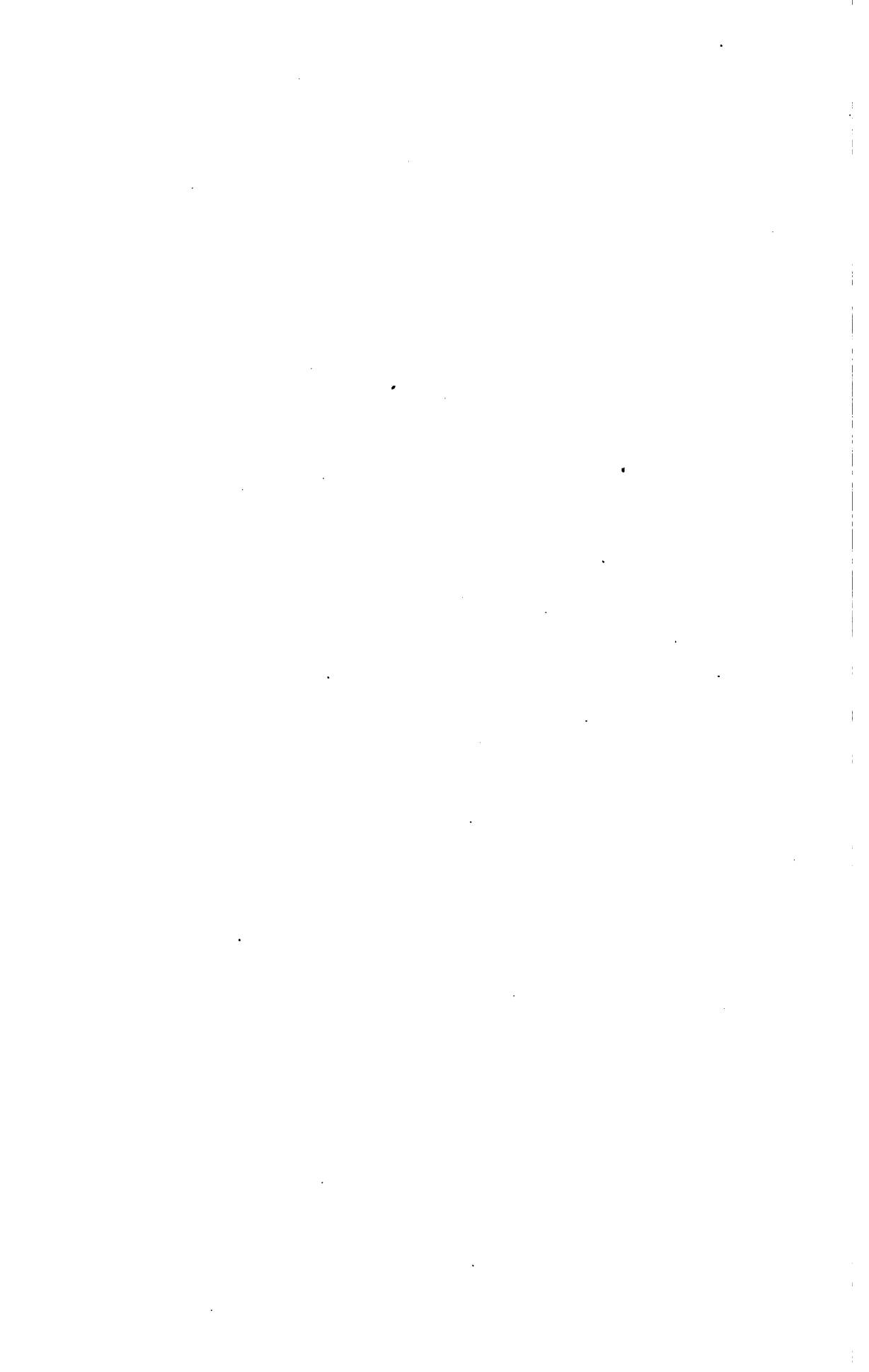
1° Dans le phénomène connu de l'augmentation de résistance de l'hélice centrale des bâtiments à hélices triples, l'action de la *coque au repos* (gouvernail, effet de voûte, etc.) ne joue pas un rôle sensible;

2° La réaction des hélices latérales sur l'hélice centrale diminue la résistance de cette dernière, lorsque les hélices latérales sont comme d'habitude placées sur l'avant de l'hélice centrale;

3° L'action de la *coque en mouvement* a pour résultat d'augmenter la résistance de l'hélice centrale. Cette action s'exerce probablement par la différence de l'effet du sillage sur les trois hélices;

4° Cette dernière action l'emporte, en général, sur la réaction des hélices latérales. Il en résulte l'augmentation connue de la résistance de l'hélice centrale.

(1) *Doubles hélices contre triples hélices* (*Bulletin de l'Association Technique Maritime* de 1905).



NOTE SUR LES HÉLICES.

CALCUL DE LA RÉSISTANCE A LA ROTATION,

PAR M. A. BASSETTI,
Ingénieur civil des Constructions navales,
Ingénieur des Chantiers et Ateliers de la Loire.

Les hélices propulsives, employées presque exclusivement aujourd'hui par la navigation à vapeur, sont des appareils dont le fonctionnement n'est encore qu'imparfaitement connu, malgré les nombreux travaux, tant théoriques que pratiques, publiés sur cet intéressant sujet; certaines questions, et non des moindres, sont restées presque totalement dans l'ombre; par exemple, dans l'état actuel de la science, il est impossible de dire quelles sont les formes des arrières de carènes les plus favorables au fonctionnement des propulseurs hélicoïdaux, quelle est la meilleure forme à donner aux ailes, si les moyeux doivent être gros ou petits, etc.

Une hélice, actionnée par un travail moteur Φ , produit un travail de poussée utile P suivant son axe; le rendement du propulseur est alors

$$\rho = \frac{P}{\Phi}.$$

Il est évident qu'on doit s'efforcer de donner à ce rendement une valeur aussi voisine que possible de l'unité. Malheureusement, on ignore toujours les valeurs de Φ , de P et, par conséquent, de ρ .

Dans un essai, on constate simplement que, pour une puissance indiquée F de la machine, l'hélice fait N tours, et que le navire a une certaine vitesse V .

Pour déduire le travail moteur Φ de la puissance indiquée F , il faudrait connaître les rendements mécaniques de la machine et des lignes d'arbres, mais on les ignore.

En particulier, il est certain que le rendement des lignes d'arbres est influencé par les déformations de la coque, surtout avec les lignes d'arbres très longues, qu'on trouve sur les navires qui ont une partie de leurs chaudières en arrière des machines.

De même, pour déduire le travail de poussée P de la vitesse V , il faudrait connaître la résistance de la carène, et on l'ignore.

Dans ces conditions, on voit combien il est difficile de découvrir les lois du fonctionnement de l'hélice, alors qu'on ne connaît seulement que le fonctionnement du groupe machine-hélice-carène.

S'il est utile d'avoir une hélice ayant un bon rendement, il est peut-être encore plus utile d'avoir une hélice ayant une résistance convenable, c'est-à-dire satisfaisant à la condition que son couple résistant, pour un nombre de tours fixé *a priori*, soit égal au couple moteur donné par la machine pour cette même allure.

Il y a là un équilibre entre la résistance et la puissance, qui doit être satisfait pour que la machine fonctionne dans les conditions prévues par son constructeur; on a donc grand intérêt à connaître le plus exactement possible la résistance d'une hélice projetée.

Pour calculer cette résistance, on se sert fréquemment de la célèbre *formule de Moll*, qui donne en général une approximation assez satisfaisante, et qui a, en outre, le grand avantage de donner la réponse demandée, sans qu'il soit nécessaire, au préalable, de tracer l'hélice projetée.

Le but de ce travail est de proposer une autre formule, qui semble serrer la vérité de plus près que la formule de Moll, tout en étant aussi simple.

Formule proposée. — La formule proposée, établie en partie par le raisonnement, et en partie empiriquement, est de la forme

$$(1) \quad F = EN^3 H f^{\frac{1}{3}} (\pi^2 D^2 + H^2)^{\frac{1}{2}},$$

où :

F est la puissance indiquée de la machine en chevaux;

E un coefficient numérique qui dépend des rendements de la machine et des lignes d'arbres, de la forme de la carène, de la vitesse du navire, de la position des hélices, et probablement aussi de l'épaisseur des ailes;

N le nombre de tours de l'hélice par minute;

H le pas de l'hélice en mètres;

f la fraction de pas moyenne totale;

D le diamètre extérieur de l'hélice en mètres;

enfin $\pi = 3,1416$.

Les écarts des valeurs du coefficient E sont moindres que ceux des valeurs du coefficient similaire de la formule de Moll; les plus grands écarts constatés dans nos calculs sont de 1,00 à 1,33 pour l'expression $\sqrt[3]{10^3 E}$, et de 4,10 à 5,72 pour l'expression analogue $\sqrt[3]{10^3 A}$ de la formule de Moll.

Mais le principal avantage de la formule proposée réside en ce que le coefficient E varie peu, en général, d'un navire à un autre, lorsqu'ils sont du

même type, et présente, au contraire, des variations lorsqu'on change de type, par exemple lorsqu'on passe d'un cuirassé à un torpilleur.

En d'autres termes, on voit nettement l'influence des formes de la carène, et de la position des hélices sur ce coefficient; alors que, pour le coefficient de la formule de Moll, cette influence n'est pas clairement mise en évidence.

Si l'on tire N de la relation (1), il vient

$$N = \frac{1}{\sqrt[3]{10^8 E}} \sqrt[3]{\frac{10^8 F}{H f^3 (\pi^2 D^2 + H^2)^2}}.$$

C'est sous cette forme que la formule proposée sera le plus fréquemment employée; c'est pour cela que, dans le tableau suivant, nous donnons les diverses valeurs de $\sqrt[3]{10^8 E}$ au lieu du coefficient E lui-même.

Il résulte des essais de 73 hélices différentes les valeurs moyennes suivantes :

		Valeurs de $\sqrt[3]{10^8 E}$.	
		Marche à outrance.	Marche réduite.
Paquebots	Hélices latérales	1,17	"
	» centrales	1,24	"
Cuirassés	» latérales	1,18	1,16
	» centrales	1,21	"
Croiseurs	» latérales	1,10	1,09
	» centrales	1,15	1,15
Torpilleurs		1,05	1,03
Canots		1,19	"

Pour les paquebots, les hélices latérales sont relatives à des navires à 2 hélices, et les centrales à des paquebots à 1 hélice.

Pour les cuirassés et les croiseurs, les hélices centrales concernent des bâtiments à 3 hélices; les hélices latérales sont relatives à des navires à 2 et à 3 hélices.

La valeur de $\sqrt[3]{10^8 E}$ est, en général, un peu plus faible pour une marche réduite que dans la marche à outrance. Pour un essai au point fixe, le coefficient a une valeur beaucoup plus forte que lorsqu'il y a un sillage; on pourra prendre dans ce cas :

$$\sqrt[3]{10^8 E} = 1,50.$$

On voit, d'après ce qui précède, qu'une hélice est d'autant plus résistante, qu'elle est plus voisine de la carène; pour tous les bâtiments à 3 hélices (moins un), dont nous possédons les résultats d'essais, l'hélice centrale est plus résistante que les hélices latérales; et ce fait est, en général, plus accentué pour les croiseurs que pour les cuirassés, dont les formes sont moins fines.

Il y a cependant une exception à cette règle, c'est le *Dupuy-de-Lôme* : à bord de ce croiseur, le phénomène est inversé, les hélices latérales sont plus résistantes que l'hélice centrale; mais il serait imprudent de tirer une conclusion de ce fait isolé, qui s'explique par des circonstances tout à fait spéciales; en effet, sur ce navire, l'hélice centrale est actionnée par une machine verticale, tandis que les hélices latérales sont conduites par des machines horizontales, et, en outre, les lignes d'arbres latérales sont plus longues que la ligne d'arbres centrale.

Sur les torpilleurs, où les hélices sont très dégagées, on a toujours des propulseurs moins résistants que sur les autres navires.

Enfin, dans le cas des essais au point fixe, les hélices deviennent très résistantes.

Remarque sur l'évaluation de la fraction de pas. — La fraction de pas moyenne totale f , qui figure dans la formule proposée, est, suivant la coutume, la moyenne arithmétique :

$$f = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3},$$

dans laquelle

$$\begin{array}{llll} f_1 = & \text{fraction de pas totale mesurée aux } \frac{1}{6} \text{ du rayon.} \\ f_2 = & \text{''} & \text{''} & \frac{3}{4} \text{ ''} \\ f_3 = & \text{''} & \text{''} & \frac{1}{2} \text{ ''} \end{array}$$

Ce mode d'évaluation de la fraction de pas revient en somme à substituer à l'hélice considérée une autre hélice, dont la fraction de pas est constante et égale à f . Or, on sait que ces hélices à fraction de pas constante ne sont plus guère usitées actuellement que sur de petits bâtiments sans importance. Au contraire, toutes les hélices modernes pour les grands navires ont des ailes plus ou moins pointues.

Il résulte donc de ce qui précède, que, en évaluant ainsi la fraction de pas, on commet sciemment une inexactitude, puisque l'on ne tient pas compte de la forme des ailes de l'hélice considérée, forme qui a certainement une influence sur la résistance; le seul avantage de ce mode de calcul est sa simplicité.

Modification de la formule si l'on tient compte de la forme des ailes. — Si l'on veut tenir compte de la forme des ailes, ce qui est rationnel, on devra couper les ailes par des cylindres concentriques, et appliquer successivement la formule proposée à chacune des sections des ailes comprises entre deux cylindres consécutifs.

Pour plus de clarté, supposons l'hélice divisée par trois cylindres concentriques : D étant le diamètre des ailes à la périphérie, D_2 sera le diamètre du

plus grand des cylindres, D , le diamètre du suivant et d celui du plus petit que nous choisirons égal au diamètre du moyen.

Si f_1 est la fraction de pas moyenne totale des ailes dans la première zone, limitée par les cylindres de diamètres D et D_1 , f_2 la fraction de pas moyenne totale dans la deuxième zone et f_3 la fraction de pas dans la troisième et der-

nière zone; la relation proposée s'écrit

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} F = EN^2 H \big\{ & f_1^{\frac{1}{3}} [(\pi^2 D^2 + H^2)^2 - (\pi^2 D_1^2 + H^2)^2] \\ & + f_2^{\frac{1}{3}} [(\pi^2 D_1^2 + H^2)^2 - (\pi^2 D_2^2 + H^2)^2] \\ & + f_3^{\frac{1}{3}} [(\pi^2 D_2^2 + H^2)^2 - (\pi^2 d^2 + H^2)^2] \big\}. \end{aligned} \right.$$

En général, f_1 , f_2 et f_3 étant les fractions de pas mesurées aux $\frac{1}{6}$, aux $\frac{1}{3}$ et à $\frac{1}{2}$ des ailes, on prendra :

$$D_1 = \frac{7}{8} D \quad \text{et} \quad D_2 = \frac{5}{8} D.$$

Avec les formes adoptées actuellement pour les ailes d'hélices, les valeurs de $\sqrt[3]{10^5 E}$, tirées de la relation (2), sont d'environ 3 pour 100 plus fortes que celles données par la relation (1).

On a, par exemple :

Nom du navire.	Hélices.	Valeurs de $\sqrt[3]{10^3 E}$ (marche à outrance).	
		par la relation (1).	par la relation (2).
<i>Kaiser-Wilhelm</i> (paquebot)...	latérales	1,17	1,21
<i>Charlemagne</i> (cuirassé).....	latérales	1,18	1,21
Id.	centrale	1,27	1,31
<i>Desaix</i> (croiseur).....	latérales	1,14	1,18
Id.	centrale	1,18	1,22
<i>Lahire</i> (contre-torpilleur).....	latérales	1,07	1,10

Pour un avant-projet, ou pour la comparaison de deux hélices dont les ailes ont des formes semblables, on emploiera la relation (1); la relation (2) servira pour une étude plus complète, ou pour la comparaison d'hélices, dont les ailes affectent des formes très différentes.

Influence des formes de la carène, et de l'épaisseur des ailes sur la valeur du coefficient E. — En terminant, nous voulons mettre en évidence l'influence des formes de la carène sur la valeur du coefficient E; ce coefficient dépend évidemment d'autres facteurs, tels que les rendements mécaniques des machines et des lignes d'arbres, la vitesse du navire, etc., mais nous croyons pouvoir affirmer qu'il dépend *principalement* des formes de la carène, et de la position des hélices par rapport à celle-ci.

Considérons, par exemple, deux croiseurs ayant les mêmes coques, mais dont les machines et les hélices diffèrent sensiblement les uns des autres; ce sont les croiseurs cuirassés *Gueydon* et *Montcalm*.

La relation (1), appliquée à ces deux bâtiments, donne pour la marche à outrance :

	Valeurs de $\sqrt[3]{10^3 E}$ (marche à outrance).	
	Hélice centrale.	Hélices latérales.
<i>Gueydon</i>	1,15	1,09
<i>Montcalm</i>	1,14	1,10

Dans le cas où la puissance est réduite à environ la moitié de la puissance maxima, la concordance des valeurs de $\sqrt[3]{10^3 E}$, pour les deux navires considérés, subsiste encore :

	Valeurs de $\sqrt[3]{10^3 E}$ (marche réduite).	
	Hélice centrale.	Hélices latérales.
<i>Gueydon</i>	1,11	1,07
<i>Montcalm</i>	1,12	1,07

On voit, par cet exemple, que le coefficient E, à une même allure, est

sensiblement constant pour des navires ayant les mêmes carènes, et les hélices semblablement installées.

Nous pourrions citer plusieurs exemples similaires; cependant nous devons dire qu'il y a aussi parfois des exceptions; certains navires ont pour le coefficient E des valeurs plus fortes qu'ils ne devraient avoir, étant données leurs formes. Nous pensons que cette anomalie pourrait bien tenir à un mauvais rendement mécanique des machines et des lignes d'arbres.

La faiblesse du coefficient E , pour les torpilleurs ayant des arrières fins, est une autre preuve de l'influence des formes de la carène sur ce coefficient; on a, par exemple,

	Valeurs de $\sqrt[3]{10^6 E}$ (marche à outrance).
<i>Cyclone</i>	1,01
<i>Mistral</i>	1,01

Enfin, il est probable que l'épaisseur des ailes de l'hélice influence le coefficient E ; il arrive assez fréquemment, en effet, que les fortes valeurs de ce coefficient correspondent à des hélices dont les ailes sont épaisses.

En résumé, nous conseillons pour un projet de prendre le coefficient E d'un navire, dont la carène est analogue à celle du bâtiment pour lequel on fait le projet d'hélice; en opérant ainsi, il est très probable que l'erreur commise dans l'évaluation du nombre de tours ne dépassera pas 2 ou 3 pour 100.

Si, au lieu d'agir ainsi, on se contente de prendre pour le coefficient l'une des valeurs moyennes, qui figurent au tableau donné précédemment, l'erreur commise dans l'évaluation du nombre de tours pourra atteindre 5 pour 100, mais sera souvent moindre.

Sur les 73 hélices, qui nous ont servi à calculer les valeurs moyennes du coefficient E , il y en a 29 pour lesquelles l'écart, entre le nombre de tours réel et le nombre de tours calculé par la relation (1), est égal ou inférieur à 2 pour 100; ces calculs ont été faits avec les valeurs moyennes données pour les coefficients.

Il nous semble que ces résultats sont assez probants pour attirer l'attention sur la formule que nous proposons.

NOTE

SUR LE

CHANGEMENT DES ROUES DES PAQUEBOTS

« LE NORD » ET LE « PAS-DE-CALAIS »,

PAR M. HART,

Ingénieur attaché au Service maritime du Chemin de fer du Nord.

Historique de la question. — Depuis la mise en service des paquebots, les roues, par suite de la surimmersion de 0^m,400 environ, due à des causes diverses, travaillaient dans des conditions défectueuses.

Les angles d'entrée et de sortie ayant été assez profondément modifiés par cette surimmersion, il se produisait à l'entrée des chocs importants de la pale sur l'eau, et à la sortie la quantité d'eau remontée dans les tambours était considérable.

Il en résultait pour les roues une fatigue exagérée, qui rendait nécessaire des réparations fréquentes. C'est à cette situation qu'il faut attribuer, d'abord les ruptures constatées sur les pales primitives en deux tôles, qui ont dû être remplacées par une tôle unique de grande épaisseur, puis les ruptures fréquentes d'axes d'oscillation de pales, et enfin les ruptures de bras, dont quelques-unes ont failli entraîner des avaries graves.

La fatigue des roues n'était pas d'ailleurs le seul inconvénient de leurs mauvaises conditions de fonctionnement, car la fatigue et les à-coups subis se répercutaient sur la machine, déjà surchargée par le surcroît de puissance nécessité par la surimmersion, surcroît qu'on peut évaluer à 1500^{chx}. Ce surcroît de travail était d'autant plus nuisible, qu'il était produit non pas par l'augmentation de la vitesse de rotation des roues (qui tournaient en service de 38 ou 39 tours, alors qu'aux essais elles avaient tourné à 47 tours), mais par celle de l'ordonnée moyenne totalisée.

Cette ordonnée atteignait et dépassait même assez souvent 4^k5,500, alors

que sur les machines à triple expansion fonctionnant normalement elle ne dépasse pas 3^k, 500, et reste souvent au-dessous de ce chiffre. C'était donc un surcroît de fatigue de 28,5 pour 100 environ pour la machine.

En présence de cette situation fâcheuse, et des avaries telles que la rupture des pattes d'attache des glissières sur les cylindres BP, il fut décidé qu'on remplacerait les roues, de manière à les mettre dans de meilleures conditions de fonctionnement, tout en diminuant leur fatigue, et surtout celle de la machine.

Nature du problème. — C'était là un problème assez difficile à résoudre en raison du peu de données qu'on possède sur le fonctionnement des roues, et aussi sur les variations d'influence des divers éléments de ce fonctionnement, dont un certain nombre ne sont pas chiffrables, et changent d'ailleurs d'un système de roues à l'autre.

L'imprécision des renseignements tient surtout au peu de connaissances qu'on a des mouvements et des vitesses que prend le fluide sous l'action des pales, ainsi que des directions variées de ces mouvements et vitesses.

Dans le cas qui nous occupe, le peu de hauteur de l'axe des roues au-dessus de la flottaison (1^m, 480) venait encore compliquer la question, car pour une immersion donnée le diamètre des roues, et, par suite, la vitesse de rotation à réaliser pour obtenir une vitesse donnée du navire était pour ainsi dire absolument déterminé.

On ne pouvait donc compter résoudre le problème directement, et il fallait procéder par tâtonnements et par comparaison avec d'autres paquebots à roues, dont on pût connaître les conditions d'établissement; mais cette comparaison même était difficile, et les anomalies qu'on rencontre dans le tracé des épures montrent qu'il se produit des mouvements anormaux de l'eau dans les propulseurs, mouvements dont il est bien difficile de tenir compte, en raison même de l'étendue de leurs variations, dès que l'allure, le diamètre des roues, les angles d'entrée et de sortie et les surfaces des pales viennent eux-mêmes à varier, même légèrement.

Conditions du problème. — Le point de départ de l'étude fut le programme indiqué par M. du Bousquet, Ingénieur en chef. « Réduire le plus possible la fatigue de la machine et des roues, en corrigeant la répartition pour décharger le cylindre BP, et en conservant la même vitesse de marche en service, soit 18ⁿ, 5. »

Les données exactes de cette marche avec les anciennes roues étaient les suivantes par beau temps :

Vitesse du navire en nœuds.....	18 ⁿ , 5
Vitesse du navire en mètres par seconde.....	9 ^m , 50
Nombre de tours.....	38
Puissance développée.....	6.400 ^{HP}

Ordonnée moyenne totalisée.....	4 ^m , 450
Tirant d'eau au droit des roues.....	3 ^m , 150
Surface immergée du maitre couple.....	$B^2 = 30^m^2, 20$
Diamètre extérieur des roues.....	6 ^m , 900
Diamètre à l'articulation des pales.....	5 ^m , 660
Surface d'une pale.....	$b^2 = 4^m, 20 \times 1^m, 32 = 5^m^2, 544$
Rapport $\frac{B^2}{2b^2}$	2 ^m , 72
Immersion du bord supérieur des pales.....	0 ^m , 650
Volume d'eau attaqué par seconde.....	191 ^m ³, 266
Recul mesuré au centre de poussée des pales.....	0, 171

Le tirant d'eau au droit des roues, et la forme exacte de la ligne de flottaison furent déterminés à l'aide d'une série de photographies prises d'un navire naviguant parallèlement au paquebot à la vitesse de 18ⁿ, 5.

Celui-ci avait reçu préalablement un quadrillage peint en blanc sur la carène, permettant de connaître les échelles de longueur et de hauteur.

La forme de la flottaison trouvée est donnée planche I.

Méthodes suivies. — Une fois les éléments de la marche avec les anciennes roues exactement déterminées, nous nous sommes servis de préférence de la méthode graphique, les formules ne nous ayant guère conduits qu'à des résultats inacceptables.

Cette méthode a d'ailleurs l'avantage de permettre de suivre, pour ainsi dire pas à pas, les variations dans le mouvement et le travail des pales, depuis leur entrée dans l'eau jusqu'à leur sortie, et de faciliter, par suite, l'étude de leur fonctionnement.

Pour avoir des résultats comparatifs, nous avons appliqué la même méthode d'étude tant aux roues primitives des paquebots marchant à différentes vitesses, qu'à celles d'autres paquebots.

En fait, le seul paquebot étranger, dont nous ayons des données à peu près certaines, est la *Marie-Henriette*, dont les conditions de fonctionnement sont sensiblement différentes de celles de nos paquebots, en raison du plus grand déplacement en service de ces derniers, du nombre de tours plus grand de la *Marie-Henriette*, et aussi de la hauteur plus grande de son arbre de roues au-dessus de la flottaison.

Finalement, si l'étude de la *Marie-Henriette* a pu nous fournir des indications précieuses, les données des roues projetées, et réalisées aujourd'hui, ont dû surtout être déduites des roues primitives fonctionnant à différentes vitesses.

Le tableau I, ci-après, résume les données concernant la *Marie-Henriette*, et celles des paquebots *Nord* et *Pas-de-Calais* dans différentes conditions de marche.

TABLEAU I. — *Données comparatives des diverses conditions de marche des paquebots étudiés.*

Désignation des données.	Marie-Henriette. 22 ^m ,2.	Nord			Pas-de-Calais.		
		21 ^m ,481.	19 ^m ,58.	18 ^m ,50 (service).	21 ^m ,375.	16 ^m ,767.	
Données de carène.							
Longueur.....	L	103 ^m ,63	103 ^m ,00	103 ^m ,00	103 ^m ,00	103 ^m ,00	103 ^m ,00
Largeur.....	l	11 ^m ,60	10 ^m ,65	10 ^m ,65	10 ^m ,65	10 ^m ,65	10 ^m ,65
Tirant d'eau moyen.....	T	2 ^m ,742	3 ^m ,072	3 ^m ,072	3 ^m ,15	3 ^m ,015	3 ^m ,010
Maitre-couple immergé.....	B ²	29 ^m ³ ,092	29 ^m ³ ,37	29 ^m ³ ,37	30 ^m ³ ,20	28 ^m ³ ,76	29 ^m ³ ,11
Déplacement.....	D	1750 ^t	2002 ^t	2002 ^t	2040 ^t	1928 ^t	1977 ^t
Déplacement ²	D ²	145,22	158,74	158,74	160,84	155	157,61
Données de puissance et de vitesse.							
Puissance indiquée.....	(I. H. P.)	8134 ^{chx}	7611 ^{chx}	6423 ^{chx}	6406 ^{chx}	8082 ^{chx}	3701 ^{chx}
Nombre de tours.....	N	52 ^t ,89	46 ^t ,846	41 ^t ,94	38 ^t	47 ^t ,23	37 ^t ,55
Vitesse en nœuds.....	V	22 ⁿ ,30	21 ⁿ ,481	19 ⁿ ,58	18 ⁿ ,50	21 ⁿ ,374	16 ⁿ ,767
Vitesse en mètres.....	v	11 ^m ,420	11 ^m ,050	10 ^m ,070	9 ^m ,52	10 ^m ,990	8 ^m ,74
Utilisation.....	$m_1 = \frac{V^3 D^3}{P}$	195,3	206,6	185,5	159,1	187,2	198,0
Puissance par tonneau de déplacement.....		4 ^{chx} ,64	3 ^{chx} ,80	3 ^{chx} ,40	3 ^{chx} ,13	4 ^{chx} ,19	1 ^{chx} ,87
Puissance par mètre carré du maitre-couple..		279 ^{chx} ,2	259 ^{chx} ,1	218 ^{chx} ,6	211 ^{chx} ,9	281 ^{chx} ,00	130 ^{chx} ,4
Données d'établissement des propulseurs.							
Diamètre extérieur des roues.....	Δ_e	6 ^m ,820	6 ^m ,900	6 ^m ,900	6 ^m ,900	6 ^m ,900	6 ^m ,900
Diamètre intérieur des roues.....	Δ_i	4 ^m ,170	4 ^m ,260	4 ^m ,260	4 ^m ,260	4 ^m ,260	4 ^m ,260
Diamètre aux articulations.....	Δ_a	5 ^m ,640	5 ^m ,660	5 ^m ,660	5 ^m ,660	5 ^m ,660	5 ^m ,660
Diamètre au centre des pales.....	$\frac{\Delta_e - \Delta_i}{2}$	5 ^m ,495	5 ^m ,590	5 ^m ,590	5 ^m ,590	5 ^m ,590	5 ^m ,590
Diamètre au centre de poussée.....	$\frac{2}{3} \frac{\Delta_e^3 - \Delta_i^3}{\Delta_e^2 - \Delta_i^2}$	5 ^m ,703	5 ^m ,784	5 ^m ,784	5 ^m ,784	5 ^m ,784	5 ^m ,784
Longueur des pales.....	λ	4 ^m ,580	4 ^m ,200	4 ^m ,200	4 ^m ,200	4 ^m ,200	4 ^m ,200
Hauteur des pales.....	h	1 ^m ,320	1 ^m ,320	1 ^m ,320	1 ^m ,320	1 ^m ,320	1 ^m ,320
Surface d'une pale.....	$\lambda h = b^2$	6 ^m ² ,0456	5 ^m ² ,5440	5 ^m ² ,5440	5 ^m ² ,5440	5 ^m ² ,5440	5 ^m ² ,5440
Surface de deux pales.....	$2b^2$	12 ^m ² ,0902	11 ^m ² ,0880	11 ^m ² ,0880	11 ^m ² ,0880	11 ^m ² ,0880	11 ^m ² ,0880
Immersion du bord supérieur.....	i_s	0 ^m ,020	0 ^m ,582	0 ^m ,582	0 ^m ,660	0 ^m ,525	0 ^m ,550
Immersion du bord inférieur.....	i_i	1 ^m ,350	1 ^m ,902	1 ^m ,902	1 ^m ,980	1 ^m ,845	1 ^m ,870
Longueur de la veine attaquée.....	2λ	9 ^m ,140	8 ^m ,400	8 ^m ,400	8 ^m ,400	8 ^m ,400	8 ^m ,400
Hauteur de la veine (en marche).....	i_i	1 ^m ,300	1 ^m ,902	1 ^m ,902	1 ^m ,980	1 ^m ,845	1 ^m ,870
Section de la veine (en marche).....	$2\lambda i_i = 2s$	11 ^m ² ,882	15 ^m ² ,977	15 ^m ² ,977	16 ^m ² ,632	15 ^m ² ,498	15 ^m ² ,700
Volume d'eau attaqué par seconde.....	$\frac{2s \pi \Delta \rho n}{60}$	187 ^m ³ ,61	226 ^m ³ ,55	192 ^m ³ ,91	191 ^m ³ ,27	221 ^m ³ ,466	153 ^m ³ ,10
Données de fonction des roues.							
Vitesse de rotation au centre des pales.....	$\frac{W_c}{v}$	15 ^m ,205	13 ^m ,680	12 ^m ,246	11 ^m ,090	13 ^m ,790	9 ^m ,800
Recul au centre des pales.....	$\frac{W_c - v}{W_c}$	3 ^m ,785	2 ^m ,630	2 ^m ,175	1 ^m ,570	2 ^m ,800	1 ^m ,210
Coefficient de recul.....		0,248	0,193	0,177	0,141	0,203	0,111
Vitesse de rotation au centre de poussée.....	$\frac{W_p}{v}$	15 ^m ,790	14 ^m ,180	12 ^m ,700	11 ^m ,500	14 ^m ,290	10 ^m ,150
Recul au centre de poussée.....	$\frac{W_p - v}{W_p}$	4 ^m ,370	3 ^m ,130	2 ^m ,630	1 ^m ,980	3 ^m ,300	1 ^m ,900
Coefficient de recul.....		0,276	0,220	0,216	0,171	0,230	0,195

Désignation des données.	Marie- Henriette. 22 ⁿ ,2.	Nord			Pas-de-Calais.	
		21 ⁿ ,481.	19 ⁿ ,38.	18 ⁿ ,50 (service).	21 ⁿ ,374.	16 ⁿ ,707.
Rapports.						
.....	0,415	0,377	0,377	0,367	0,385	0,380
.....	0,408	0,543	0,543	0,550	0,538	0,539
.....	18,18	13,50	11,48	8,57	13,03	10,20
.....	2,382	2,185	2,142	2,005	2,208	2,008

Les deux points à signaler dans ce tableau comparatif sont la grande différence des volumes d'eau attaqués par seconde à la vitesse maxima, presque la même, ainsi que la différence des rapports des surfaces des pales et de la section de la veine attaquée au maître-couple immergé.

Il faut d'abord remarquer que si les paquebots *Nord* et *Pas-de-Calais* n'avaient que le tirant d'eau prévu (2^m,750), ces rapports seraient sensiblement meilleurs, puisqu'on aurait

$$\frac{2b^3}{B^3} = 0,400, \quad \frac{2s}{B^2} = 0,527,$$

et que la masse d'eau attaquée par seconde descendrait à 152^m,440.

Il faut également noter qu'à égalité de vitesse la puissance nécessaire par tonneau de déplacement ou par mètre carré de maître-couple immergé est sensiblement moindre pour le *Nord* et le *Pas-de-Calais* que pour la *Marie-Henriette*, ce qui est la conséquence de leurs excellentes lignes d'eau.

Enfin les rapports du cube de nombre de tours à la puissance et du nombre de tours à la vitesse de marche sont également plus avantageux pour le *Nord* et le *Pas-de-Calais*.

Détermination du recul des nouvelles roues. — D'autre part, si l'on suppose, ce qui n'est pas absolument exact, mais ne doit pas s'éloigner beaucoup de la vérité, que pour la *Marie-Henriette* les variations du recul avec la vitesse suivent une loi analogue à celle donnée par les reculs du *Nord* et du *Pas-de-Calais*, on arrive pour le premier de ces paquebots marchant à la vitesse de 18ⁿ,5 aux chiffres suivants :

Vitesse du navire	9 ^m ,52
Coefficient de recul	0,208
Vitesse de rotation au centre de poussée	11 ^m ,500
Nombre de tours	38,5

On voit que ces conditions de fonctionnement se rapprochent beaucoup de celles du *Nord* et du *Pas-de-Calais*. La principale différence est dans le

coefficient du recul, plus élevé pour la *Marie-Henriette*, par suite des plus grands diamètres des roues, résultant de la plus grande hauteur de leur axe au-dessus de la ligne de flottaison.

Il semblerait donc ressortir de ces comparaisons qu'il serait avantageux d'avoir pour les nouvelles roues un recul supérieur à celui donné par les roues primitives.

Cette conclusion nous a été confirmée par M. Kraft, Ingénieur en chef des Usines Cockerill, qui, avec sa grande expérience des bateaux à roues, considère comme impossible d'obtenir des résultats satisfaisants si le coefficient de recul est inférieur à 0,200. Encore est-ce une limite inférieure, au-dessous de laquelle il convient de se tenir.

C'est en nous basant sur ces comparaisons et sur l'avis de M. Kraft, que nous avons admis, pour l'étude des nouvelles roues, un coefficient de recul de 0,250 au centre.

Détermination des dimensions d'action des pales. — Le tableau I montre que la surface des deux pales simultanément verticales est pour la *Marie-Henriette* très sensiblement supérieure à celle du *Nord* et du *Pas-de-Calais*, bien que ceux-ci aient un maître-couple immergé plus considérable.

La différence de surface des pales n'est pas moindre de

$$12^{\text{m}^2},09 - 11^{\text{m}^2},08 = 1^{\text{m}^2},01,$$

soit 8,3 pour 100.

Si, d'autre part, on rapporte la surface des pales à la puissance développée, on a

$$\begin{array}{l} \text{Pour la } \textit{Marie-Henriette} \text{ à } 22^{\text{m}},2 \dots\dots\dots \frac{12,09}{8134} = \frac{1}{672,8} \\ \text{Pour le } \textit{Nord} \text{ et le } \textit{Pas-de-Calais} \text{ à } 18^{\text{m}},5 \dots\dots\dots \frac{11,08}{6400} = \frac{1}{586,2} \end{array}$$

On pouvait donc conclure de cette comparaison que pour 18^m,5 la surface de pales du *Nord* et du *Pas-de-Calais* était trop considérable, ce qui tendait à réduire le recul, et qu'il était possible de la réduire avantageusement.

En adoptant le coefficient de $\frac{1}{672,8}$ donné par la *Marie-Henriette* pour la puissance de 8134^m, on arriverait pour le *Nord* à une surface de pale égale à $\frac{6400}{672,8} = 9^{\text{m}^2},51$, soit 4^m,75 par pale.

En laissant la hauteur de celles-ci à 1^m,30, on était donc conduit à une longueur de 3^m,65.

Dans les roues nouvelles, nous n'avons pas osé aller aussi loin, en raison de l'abaissement du rapport $\frac{2b^3}{B^2}$ auquel cela eût conduit, et nous nous en

sommes tenus à 3^m,950 de longueur, ce qui laisse encore un rapport $\frac{2b^2}{B^2} = 0,505$, et une surface de 5^m,13 par pale.

Cette réduction de longueur des pales est suffisante pour que les paquebots qui, tant à Calais qu'à Douvres, ne pouvaient entrer au bassin sans démontage préalable des défenses en bois des tambours, puissent passer librement dans les écluses sans aucun démontage.

Outre l'avantage résultant de la suppression d'une nécessité gênante et continue, la réduction de longueur des pales présentait donc aussi celui de permettre le passage immédiat au bassin en cas d'avarie, faculté précieuse pour Douvres, où, dans le cas contraire, il eût fallu rester en rade foraine.

Détermination de l'immersion des pales. — On peut voir sur le tableau I que l'immersion des pales est absolument différente sur la *Marie-Henriette* et sur le *Nord*; alors que, sur le premier de ces paquebots, l'immersion du bord inférieur des pales est, en marche, de 1^m,300, elle atteint dans les mêmes conditions 1^m,980 sur le *Nord*.

Il faut, d'autre part, noter qu'il ne reste que 0^m,020 d'immersion au bord supérieur des pales de la *Marie-Henriette*, ce qui, en cas de roulis peut produire des émergences considérables d'un bord, qui ont le grave inconvénient de modifier profondément la répartition du travail entre les deux roues, et d'occasionner à leurs éléments, ainsi qu'aux arbres droits et coudés, une fatigue, qu'il y a intérêt à réduire dans la mesure du possible.

Sur le *Nord* et le *Pas-de-Calais*, l'amplitude maxima des roulis constatés a été de 17° de chaque bord avec forte tempête, mer démontée, et baromètre à 730^{mm}, c'est-à-dire dans des conditions tout à fait exceptionnelles.

Par gros temps ordinaire les roulis ne dépassent guère 7°, et atteignent rarement 10°.

Nous avons donc cherché, en tablant sur des roulis de 7°, à avoir encore, du côté émergeant, une immersion suffisante pour ne pas fatiguer trop les différents organes.

Après des tâtonnements nous nous sommes arrêtés à une immersion de 1^m,680 pour le bord inférieur, ce qui correspond à 0^m,380 pour le bord supérieur (*fig. 1*).

Ces données laissent en cas de roulis encore 0,575 de la pale émergée en prise avec le fluide, de sorte que la répartition de l'effort entre les deux roues est de 0,36 pour la roue émergée et 0,64 pour la roue immergée.

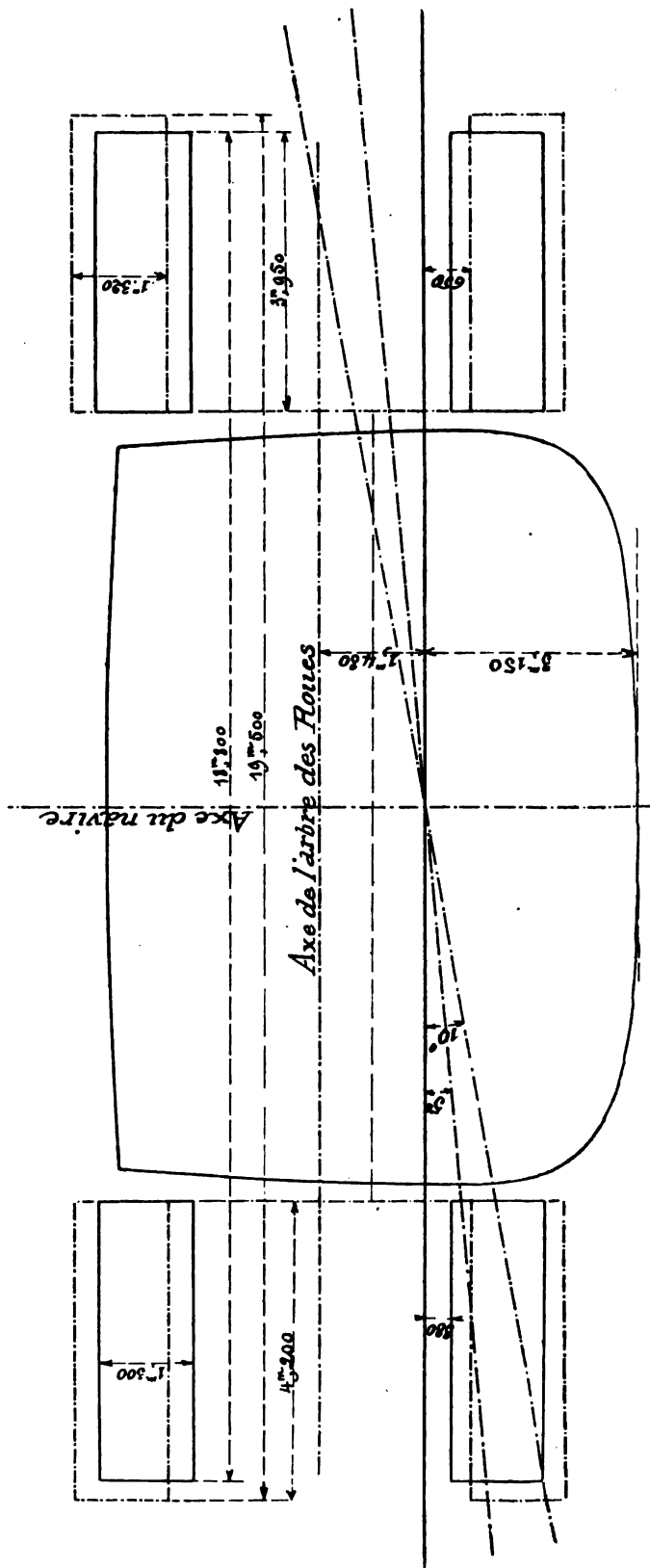
Ces cotes choisies uniquement au point de vue du roulis eussent pu être modifiées par la considération du volume d'eau attaqué par seconde, mais elle s'est trouvée, ainsi qu'on le verra plus loin, très convenable à ce point de vue.

Détermination des diamètres. — La considération de l'immersion des pales

Fig. 1.

Laquebols "Le Nord" et "Le Pas de Calais."

Comparaison des roues primitives et des nouvelles roues
au point de vue du roulis.



en cas de roulis conduit forcément à la détermination du diamètre extérieur des roues, celui-ci étant facteur de cette immersion et de la hauteur de l'axe de rotation au-dessus de la flottaison. Bien entendu ce diamètre sera, comme tous les éléments déterminés par des considérations spéciales, sujet à révision si l'on considère les autres points de vue, mais les corrections à y apporter seront relativement faibles.

Avec une immersion de 0^m,380 du bord supérieur, une hauteur de pale de 1^m,30 et une hauteur d'arbre de 1^m,480 au-dessus de la flottaison, on arrive à un diamètre extérieur

$$\Delta_2 = 2(1,300 + 0,380 + 1,480) = 6^m,320,$$

et à un diamètre intérieur

$$\Delta_1 = 2(1,480 + 0,380) = 3^m,720.$$

Le diamètre au centre d'action est alors

$$\Delta_p = 0,75 \left(\frac{\frac{6,320^4}{6,320^2} - \frac{3^m,720^4}{3^m,720^2}}{\frac{6,320^2}{6,320} - \frac{3^m,720^2}{3^m,720}} \right) = 5^m,230.$$

Comme, d'autre part, pour être sûr que les bielles de commande des pales travaillent toujours à la compression lors de l'action des pales sur l'eau, de manière à éviter les renversements de sens d'action des forces, et réduire la fatigue du point d'excentrique, il est bon que la résultante passant par le centre d'action soit un peu en dehors du cercle des articulations de pales, mais très près de celui-ci.

On peut donc fixer, pour être dans de bonnes conditions, le diamètre aux articulations à 5^m,200.

Détermination du nombre de tours. — Au point de vue des propulseurs, le nombre de tours nécessaire pour atteindre la vitesse de 18ⁿ,5, soit 9^m,52 par seconde, sera donné par la formule

$$N = \frac{60v}{0,75\pi\Delta_p} = \frac{60 \times 9,52}{0,75 \times 3,14 \times 5,23} = \frac{571,2}{12,32} = 46^1,4.$$

Cette vitesse de rotation est d'ailleurs très admissible au point de vue de la vitesse de piston et des forces d'inertie qui se développent alors, la machine ayant tourné aux essais à 47 tours avec une puissance de 7611^{chx} indiqués, au lieu de 6400^{chx} ou 6500^{chx} qui seront nécessaires, c'est-à-dire avec des efforts plus considérables.

Grosso modo, les efforts sur les roues et la machine seront donc réduits dans la proportion $\frac{6500 \times 46,4}{7611 \times 47} = \frac{301600}{357717} = 0,804$, c'est-à-dire que le gain sur la fatigue de la machine et des roues serait de 20 pour 100 environ.

Résumé des données d'établissement des nouvelles roues. — En résumé, les données, déduites chacune de considérations spéciales, étaient pour la roue en étude les suivantes :

Recul au centre d'action.....	0,250
Longueur des pales.....	3 ^m ,950
Hauteur des pales.....	1,300
Immersion du bord supérieur.....	0,380
Diamètre extérieur.....	6 ^m ,320
» intérieur.....	3,720
» au centre d'action.....	5 ^m ,230
» aux articulations.....	5 ^m ,200
Nombre de tours.....	46,4

Volume d'eau attaqué par seconde. — Avec ces données le volume d'eau attaqué par seconde serait de

$$\frac{N\pi\Delta\rho}{60}(i_s + h) \times 2\lambda = \frac{46,4 \times 16,43(1,300 + 0,380) 2 \times 3,950}{60} = 168\text{m}^3,804.$$

D'autre part les roues de la *Marie-Henriette*, marchant à 18ⁿ,5 avec un recul de 0,208, attaqueraient un volume d'eau par seconde de

$$\frac{38,5 \times 17,91(1,300 + 0,020) 2 \times 4,58}{60} = 136,54.$$

On serait donc, au point de vue du volume d'eau attaqué, dans des conditions un peu meilleures que la *Marie-Henriette*, tout en remuant moins d'eau qu'avec les roues actuelles.

Volume d'eau attaqué, et réduction probable de l'ordonnée moyenne de la machine. — Si l'on compare le volume d'eau attaqué actuellement 191^m³,27 à celui attaqué par les roues en étude 168^m³,80, on voit que le second est égal à 0,88 du premier, c'est-à-dire presque dans la même proportion que celle trouvée plus haut pour la réduction des efforts sur la machine et sur les roues déduites de la considération des puissances et des vitesses de rotation.

Il y avait donc beaucoup de probabilité pour que la réduction d'effort fût comprise entre 0,12 et 0,20 de l'effort actuel, ce qui réduirait l'ordonnée moyenne à une valeur variant de 3^{kg},54 à 3^{kg},890.

A la vérité, le fonctionnement plus rapide de la machine pouvait avoir comme conséquence un certain relèvement de cette ordonnée, par suite de la modification des conditions de fonctionnement; mais, d'autre part, la plus grande régularité d'écoulement de la vapeur résultant de la moindre consommation par cylindrée devait à peu près contrebalancer cet effet nuisible, et somme toute l'ordonnée moyenne devait bien être comprise dans les limites

indiquées. C'est effectivement ce qui s'est produit, puisque aux sorties d'essai, en marche parallèle avec le *Nord*, muni encore des roues primitives, l'abaissement moyen d'ordonnée moyenne a varié de 17 à 20 pour 100.

Tracé des épures des roues primitives et nouvelles. — Les éléments déterminés ainsi qu'il a été dit précédemment concordent entre eux d'une manière satisfaisante; nous avons appliqué au tracé des roues primitives et des nouvelles roues la méthode graphique, qui nous a conduit aux épures données par les planches II et III.

Le tracé cinématique des roues ne présente, une fois trois éléments déterminés, aucune difficulté, la considération du centre instantané de rotation permettant un tracé rapide et exact.

Détermination des efforts et des moments. — Quant au calcul des efforts résistants, des efforts propulsifs et de leurs moments, voici comment il a été effectué.

Comme il est impossible de déterminer *a priori* les coefficients pratiques de réduction dus aux résistances passives, aux mouvements anormaux de l'eau dans les propulseurs, aux variations de vitesse, qu'on ne peut arriver à connaître d'une manière suffisamment exacte, il faut se contenter de tracés comparatifs, abstraction faite de coefficients inconnus et d'ailleurs variables. Il y a donc là une certaine cause d'erreur, qu'il n'est pas possible d'éviter, mais qui, d'après les résultats obtenus aux essais, ne paraît pas avoir grande influence.

Quoi qu'il en soit, la méthode suivie pour le calcul de ces efforts et moments a été la suivante :

Soient :

C, le centre instantané de rotation correspondant à une position considérée de la pale;

v_a , la vitesse absolue du bord inférieur de la pale, qui attaque l'eau le premier à l'entrée;

v , la vitesse du navire en mètres;

v_r , la vitesse relative du bord inférieur de la pale résultant de la composition des vitesses v_a et v ;

$r^2, r_1^2, r_2^2, \dots$, le carré de la projection des vitesses v_r des différents points de la pale sur la normale à cette pale supposée plane;

R, la somme géométrique des valeurs $r^2, r_1^2, r_2^2, \dots$

Cette longueur R représente la valeur de la poussée de la pale sur le fluide placé derrière elle, c'est-à-dire la résistance du fluide à l'action de la pale dans la position considérée, et son point d'application est au centre d'action ou de poussée de ladite pale.

Cette poussée peut, elle-même, se décomposer en deux autres, une

poussée P parallèle à la direction de la vitesse du navire, c'est-à-dire horizontale, et une poussée P_1 verticale, dans le sens de haut en bas en avant de l'axe, et de bas en haut en arrière de cet axe.

Il est donc possible de déterminer, pour chacune des différentes positions de la pale dans l'eau, la poussée P , la seule qui soit intéressante, et de tracer la courbe p de ces poussées rapportées à deux axes rectangulaires (*Pl. IV*).

On aura, en traçant les courbes correspondant aux diverses pales en prise à l'écartement de l'origine donné par le tracé cinématique d'après l'écartement des pales entre elles, une série de courbes représentant les efforts simultanés des différentes pales, et, en totalisant, on aura la courbe des efforts propulsifs pour chaque point du parcours dans l'eau.

Le moment de cet effort propulsif totalisé est d'ailleurs égal à l'effort propulsif multiplié par la distance de sa direction au centre de la roue; il sera donc facile de tracer la courbe des moments propulsifs M_p .

D'autre part, l'effort résistant étant donné par la valeur R en grandeur et en direction pour chacune des positions de la pale dans l'eau, il est également possible de tracer la courbe des efforts résistants, et aussi de leurs moments, d'une manière analogue à celle employée pour les efforts et moments propulsifs.

On arrive donc pour chaque système de roues à un module de comparaison très intéressant.

Comparaison des courbes d'efforts et de moments. Supplément de fatigue des pièces. — L'examen des courbes (*Pl. IV*) montre que, pour les nouvelles roues, les variations des efforts et moments sont beaucoup plus régulières que pour les anciennes, mais que leur valeur absolue est aussi sensiblement plus considérable.

Les pièces entrant dans la composition des nouvelles roues devaient donc être plus résistantes.

La comparaison des rapports des efforts et moments des deux systèmes de roues donne *grosso modo* la proportion du renforcement à opérer.

Le moment propulsif des nouvelles roues est de 1,47 celui des anciennes, tandis que leur moment résistant n'est que de 1,39 de celui des roues primitives.

Il y a donc, en réalité, une augmentation de fatigue pour les nouvelles roues de $\frac{1,47 - 1,39}{1,47} = 5,4$ pour 100, même en ne tenant compte que des efforts.

Si l'on considère d'un autre côté que la vitesse de rotation des nouvelles roues est de 1,22 celle des anciennes, la fatigue supplémentaire des pièces des nouvelles roues sera *grosso modo* de $5,4 \times 1,22 = 6,6$ pour 100 environ.

Les pièces ont d'ailleurs été largement calculées avec un coefficient de sécurité élevé, tout en réduisant leur poids le plus possible, par une bonne

répartition de la matière, de manière à écarter autant que possible les chances d'avaries inhérentes aux variations brusques d'efforts et de vitesses, qui se reproduisent inévitablement dans le fonctionnement des roues.

Tracé de construction des roues. Gain de poids. — Les planches V et VI donnent le tracé des anciennes et des nouvelles roues.

On remarquera que, pendant que les anciennes roues ont neuf pales, les nouvelles, plus petites, n'en ont que huit, de manière à éviter les effets d'interférence résultant du trop faible écartement des pales.

Le gain de poids ainsi réalisé n'est pas négligeable, puisqu'il atteint 16 tonnes environ; aussi, malgré les renforcements des pièces qu'on peut constater, les nouvelles roues, par suite de leur plus faible diamètre et de la suppression d'une pale et de ses accessoires, ne pèsent-elles que 42 tonnes chacune, au lieu de 50 tonnes, poids des roues primitives.

Le tracé des pales suivant une forme approximative de solide d'égale résistance, au lieu d'être à épaisseur constante, contribue à ce résultat, puisque l'économie de poids par pale n'est pas moindre de 4 tonnes, au grand profit de la réduction de la force centrifuge, très importante pour ces énormes pièces à leur grande vitesse de rotation.

Essais des nouvelles roues. — Les nouvelles roues, montées sur le *Pas-de-Calais* à la fin de décembre 1905, furent essayées dans le courant de janvier 1906. Après quelques sorties de rodage, qui servirent aussi à chercher pour la machine les conditions de fonctionnement les plus favorables, on fit, le 16 janvier, un premier essai comparatif avec le *Nord* encore muni de ses roues primitives.

Les données de cet essai sont indiquées au tableau II.

Cette marche en parallèle, dans les mêmes circonstances de mer, et en ayant soin que le *Pas-de-Calais* muni de nouvelles roues ne fût pas abrité par le *Nord*, était, en effet, le meilleur moyen de se rendre compte des résultats obtenus.

Des instructions furent données pour qu'à l'aide de signaux on procédât au même moment au relevé de diagrammes comparatifs qui sont donnés *Pl. VII*, et dont les caractéristiques figurent au tableau II.

Quelques diagrammes du *Nord*, dont l'indicateur BP s'est coincé, ont dû être laissés de côté.

Cette sortie montra que l'ordonnée moyenne totalisée avait baissé de 17 pour 100, et était en moyenne de 3^{te}, 470, alors qu'elle était de 4^{te}, 184 pour le *Nord*.

De plus, la pression maxima sur les pistons, très importante au point de vue de la fatigue des pièces, a baissé de 4 à 4,8 pour 100 pour le cylindre HP, 20 pour 100 environ pour le cylindre MP et de 14 à 18 pour 100 pour le cylindre BP.

TABLEAU II. — SORTIES D'ESSAI COMPARATIVES

Dépouillement des diagrammes

NUMÉRO DE LA SÉRIE.	NOMBRE DE TOURS.	DÉSIGNATION des roues.	PRESSION		VIDE.	OUVERTURE des valves.		POSITION des coulisses.			POSITION DU COULISSEAU de relevage.		
			aux chaudières.	du vent.		Grande.	Petite.	HP.	MP.	BP.	HP.	MP.	BP.

Sortie d'essai du 16 janvier 1906

			kg	mm	cm		ouverte $\frac{1}{16}$	à fond	à fond	à fond	relevé de 60°	à fond	à fond
1	36,1	anciennes	14,100	23	66	"	ouverte $\frac{1}{16}$	à fond	à fond	à fond	relevé de 60°	à fond	à fond
1	41	nouvelles	15,000	18	65	"	id.	id.	id.	id.	à fond	id.	id.
2	36,1	anciennes	14,100	15	66	"	id.	id.	id.	id.	relevé de 40°	id.	id.
2	42	nouvelles	15,000	18	66	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
3	36,1	anciennes	14,100	15	65	"	id.	id.	id.	id.	" 25	id.	id.
3	42	nouvelles	15,000	18	65	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
4	36,1	anciennes	14,100	15	64	"	id.	id.	id.	id.	" 20	id.	id.
4	42	nouvelles	15,000	18	65	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
5	36,1	anciennes	14,100	18	64	"	id.	id.	id.	id.	" 20	id.	id.
5	41	nouvelles	15,000	18	66	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.

Moyennes comparatives	Anciennes roues.....
	Nouvelles roues.....
	Réduction pour 100 avec les nouvelles roues.....

Sortie d'essai du 26 janvier 1906

			kg	mm	cm		ouverte $\frac{1}{16}$	à fond	à fond	à fond	relevé de 70°	à fond	à fond
1	36,5	anciennes	13,5	18	65	"	ouverte $\frac{1}{16}$	à fond	à fond	à fond	relevé de 70°	à fond	à fond
1	41	nouvelles	14	8	68	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
2	36,2	anciennes	14	15	65	"	id.	id.	id.	id.	" 100	id.	id.
2	41	nouvelles	14	8	68	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
3	36,5	anciennes	14	18	65	"	id.	id.	id.	id.	" 80	id.	id.
3	41	nouvelles	14	8	68	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
4	36,5	anciennes	14	20	65	"	id.	id.	id.	id.	" 80	id.	id.
4	41	nouvelles	14	8	68	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.

Moyennes comparatives	Anciennes roues.....
	Nouvelles roues.....
	Réduction pour 100 avec les nouvelles roues.....

Sortie d'essai du 26 janvier 1906

			kg	mm	cm		ouverte $\frac{1}{16}$	à fond	à fond	à fond	relevé de 60°	à fond	à fond
1	47,2	nouvelles	15,00	30	64	"	ouverte $\frac{1}{16}$	à fond	à fond	à fond	relevé de 60°	à fond	à fond
2	47,2	id.	15,00	30	64	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.
3	"	id.	"	"	"	"	id.	id.	id.	id.	" 60	id.	id.

Moyennes.....

AVEC LES ANCIENNES ET LES NOUVELLES ROUES.

d'indicateur relevés simultanément.

ORDONNÉES MOYENNES.				PUISSANCE en chevaux.				PRESSION MAXIMA sur les pistons.					
								HP.		MP.		BP.	
HP.	MP.	BP.	Totalisée	HP.	MP.	BP.	Totale.	A.	R.	A.	R.	A.	R.

(vitesse 17ⁿ,85) : grosse mer.

kg	kg	kg	kg	chx	chx	chx	chx	kg	kg	kg	kg	kg	kg
4,500	3,035	1,625	4,063	1400	1930	2330	5560	9,15	8,40	6,25	6,25	2,06	1,95
4,225	2,370	1,350	3,415	1500	1710	2100	5310	8,70	8,42	5,25	5,25	1,90	1,80
"	"	"	"	"	"	"	"	9,05	8,40	6,25	6,25	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	8,95	8,30	5,08	5,07	1,75	1,70
"	"	"	"	"	"	"	"	9,00	8,90	6,40	6,30	1,91	1,85
"	"	"	"	"	"	"	"	8,45	7,90	4,95	4,95	1,65	1,65
4,550	3,100	1,707	4,185	1430	1970	2230	5720	8,90	8,40	6,20	6,00	2,15	2,00
4,310	2,300	1,330	3,385	1570	1710	2130	5410	8,50	7,95	4,90	4,90	1,60	1,60
4,710	3,120	1,780	4,305	1470	1990	2240	5900	9,00	8,00	6,50	6,40	2,25	2,10
4,350	2,800	1,340	3,611	1510	2030	2080	5620	8,30	7,90	4,80	4,80	1,65	1,65
4,59	3,09	1,700	4,184	1430	1963	2223	5726	9,02	8,42	6,32	6,24	2,09	1,97
4,30	2,49	1,340	3,470	1527	1816	2106	5446	8,58	8,09	5,00	4,99	1,71	1,68
-6,3	-19,4	-21,1	-17	+6,77	-7,48	-5,26	-4,54	-4,87	-3,91	-20,8	-20	+18,1	-14,7

(vitesse 17ⁿ,85) : belle mer.

kg	kg	kg	kg	chx	chx	chx	chx	kg	kg	kg	kg	kg	kg
4,587	2,740	1,507	3,837	1450	1768	2090	5308	9,15	8,60	5,55	6,00	1,90	1,76
3,781	2,115	1,205	3,050	1343	1532	1877	4752	7,40	6,95	4,40	4,20	1,60	1,50
4,425	2,670	1,517	3,767	1390	1710	2080	5180	9,00	8,30	5,40	5,80	1,90	1,75
3,819	2,085	1,196	3,036	1355	1510	1865	4730	7,00	6,50	4,30	4,00	1,50	1,45
4,550	2,750	1,570	3,886	1440	1770	2180	5390	9,10	7,85	5,60	6,00	1,86	1,60
3,756	2,020	1,243	3,039	1335	1460	1940	4735	7,20	6,70	4,10	4,10	1,50	1,45
4,413	2,830	1,547	3,682	1390	1570	2140	5100	9,00	8,70	5,60	5,80	1,82	1,70
3,721	2,005	1,185	2,968	1325	1430	1850	4625	7,50	6,70	4,20	4,00	1,35	1,40
4,493	2,747	1,535	3,790	1417	1704	2122	5244	9,06	8,36	5,54	5,90	1,87	1,70
3,772	2,056	1,207	3,023	1339	1488	1883	4710	7,27	6,71	4,23	4,07	1,49	1,45
-16	-25,1	-21,3	-20,2	-5,5	-12,67	-11,26	-10,18	-19,7	-19,7	-21,8	-31	-20,3	-14,7

Marche à grande vitesse (vitesse 19ⁿ,9) : belle mer.

kg	kg	kg	kg	chx	chx	chx	chx	kg	kg	kg	kg	kg	kg
4,287	2,652	1,446	3,657	1750	2210	2600	6560	8,00	7,80	5,60	5,60	1,70	1,90
4,081	2,625	1,445	3,641	1750	2190	2590	6530	8,30	7,80	6,00	5,60	1,90	2,00
4,250	2,660	1,459	3,669	1735	2220	2620	6575	8,50	8,20	5,80	5,60	1,80	1,90
4,274	2,645	1,450	3,654	1745	2206	2603	6555	8,36	7,93	5,46	5,60	1,80	1,93

L'ordonnée moyenne de ce dernier cylindre ayant baissé de 21 pour 100, on voit donc qu'un des résultats principaux demandés au remplacement des roues a été atteint.

D'ailleurs la répartition du travail dans les cylindres a été également améliorée.

Pendant cette sortie, la vitesse moyenne de rotation a été, d'après les diagrammes, de 36 tours pour le *Nord*, et 41 tours pour le *Pas-de-Calais*.

En prenant le nombre de tours total, la moyenne est un peu différente, elle est de 36,8 pour le *Nord* et 42 pour le *Pas-de-Calais*, ce qui correspond à 17ⁿ,6.

Le tableau III résume les résultats, et donne les conditions climatiques de l'essai, ainsi que les divers renseignements sur l'état des navires.

On remarquera que l'ordonnée moyenne a baissé de 4^{ks}, 184 à 3^{ks}, 470, soit de 17 pour 100, pendant que l'utilisation passait de 153,1 à 159,6, c'est-à-dire augmentait de 4 pour 100.

Ces résultats ont été confirmés par la sortie comparative exécutée le 26 janvier 1906, dans les mêmes conditions, mais à une vitesse un peu supérieure, 17ⁿ,85.

Le tableau IV résume les résultats, dont le détail est indiqué sur le tableau II; les diagrammes sont donnés planche VIII.

Celui-ci montre que dans cette sortie les résultats ont encore été plus satisfaisants, par suite de la meilleure distribution de la vapeur, qui avait pu être étudiée entre les deux sorties.

La réduction de l'ordonnée moyenne n'est pas moindre de 20,2 pour 100, et celle de la puissance de 10,18 pour 100 (au lieu de 4,54 à la sortie précédente).

Aussi l'utilisation passait-elle de 174 à 192,6, ce qui représente un bénéfice de 10,6 pour 100.

Dans les deux sorties, le cylindre BP voyait son ordonnée moyenne baisser de 21 pour 100, alors que celle du cylindre MP baissait de 19 à 25 pour 100, et celle du cylindre HP de 6 à 16 pour 100.

La réduction des pressions maxima sur les pistons était encore plus sensible, et atteignait en moyenne 19 à 20 pour 100 (voir tableau II) pour tous les cylindres.

La machine était donc très largement déchargée, et le programme établi d'autant mieux réalisé, que, tout en réduisant la fatigue des organes de la machine et celle des roues, on améliorait l'utilisation, ce qui se traduira dans l'avenir par des économies de combustible.

Cette amélioration de l'utilisation n'est pas le fait du seul changement des roues et de la réduction d'ordonnée moyenne, elle est aussi la conséquence de la plus grande régularité de l'écoulement de la vapeur, résultant de la vitesse de rotation plus grande et de l'admission plus réduite.

Cette amélioration dans l'écoulement de la vapeur s'est fait sentir à la

TABLEAU III. — *Sortie comparative d'essai du 16 janvier 1906. Durée de l'essai 1^h 13^m.
Vent OSO, n° 7. Mer très grosse.*

Données de l'essai.	Nord, anciennes roues.	Pas-de-Calais, nouvelles roues.
Nombre de tours total.....	2634 tours	3070 tours
Nombre de tours par minute.....	36,08	42
Vitesse du navire en nœuds V.....	17 ^m , 6	17 ^m , 6
» » en mètres.....	9 ^m , 05	9 ^m , 05
Tirant d'eau moyen.....	3 ^m , 15	3 ^m , 12
Maltre-couple immergé.....	30 ^m ³ , 20	29 ^m ³ , 88
Déplacement D.....	2053 ^u	2027 ^u
Puissance en chevaux indiqués F.....	5726 ^{HP}	5446 ^{HP}
Ordonnée totalisée.....	4 ^u ^u , 184	3 ^u ^u , 470
Coefficient d'utilisation $m_1^2 = \frac{V^3 D_1^2}{F}$	153,3	160,1
Diamètre extérieur des roues.....	6 ^m , 900	6 ^m , 320
» aux articulations.....	5 ^m , 660	5 ^m , 200
» au centre d'action des pales.....	5 ^m , 784	5 ^m , 230
Surface de 2 pales (2b ²).....	11 ^m ² , 0880	10 ^m ² , 2700
Immersion du bord inférieur des pales.....	1 ^m , 970	1 ^m , 650
Section de la veine attaquée.....	16 ^m ² , 548	13 ^m ² , 035
Vitesse de rotation au centre d'action des pales.....	10 ^m , 92	11 ^m , 49
Volume d'eau attaqué par seconde.....	121 ^m ³ , 08	149 ^m ³ , 77
Recul en mètres.....	1 ^m , 87	2 ^m , 44
Coefficient de recul.....	0,171	0,212

TABLEAU IV. — *Sortie comparative d'essai du 26 janvier 1906.*

Données de l'essai.	Nord, anciennes roues.	Pas-de-Calais, nouvelles roues.
Nombre de tours total.....	»	»
Nombre de tours par minute.....	36,1	40,8
Vitesse du navire en nœuds V.....	17,85	17,85
Vitesse du navire en mètres.....	9 ^m , 18	9 ^m , 18
Tirant d'eau moyen.....	3 ^m , 15	3 ^m , 12
Maltre-couple immergé.....	30 ^m ³ , 20	29 ^m ³ , 88
Déplacement D.....	2053 ^u	2027 ^u
Puissance en chevaux indiqués F.....	5244 ^{HP}	4710 ^{HP}
Ordonnée totalisée.....	3 ^u ^u , 790	3 ^u ^u , 023
Coefficient d'utilisation $m_1^2 = \frac{V^3 D_1^2}{F}$	174	192,6
Diamètre extérieur des roues.....	6 ^m , 900	6 ^m , 320
» aux articulations.....	5 ^m , 660	5 ^m , 200
» au centre d'action des pales.....	5 ^m , 784	5 ^m , 230
Surface de 2 pales (2b ²).....	11 ^m ² , 0880	10 ^m ² , 2700
Immersion du bord inférieur des pales.....	1 ^m , 970	1 ^m , 650
Section de la veine attaquée.....	16 ^m ² , 548	13 ^m ² , 035
Vitesse de rotation au centre d'action des pales.....	10 ^m , 927	11 ^m , 170
Volume d'eau attaqué par seconde.....	180 ^m ³ , 86	145 ^m ³ , 60
Recul en mètres.....	1 ^m , 750	1 ^m , 990
Coefficient de recul.....	0,160	0,178

fois dans les chambres de chauffe, où la pression est tenue plus facilement, et dans la machine où les entraînements d'eau ont diminué dans de telles proportions, que les purges qui restaient à peu près constamment ouvertes, surtout au cylindre HP, ne le sont plus qu'exceptionnellement, au grand bénéfice de la consommation d'eau chaude.

D'autre part, l'abaissement de la pression moyenne au cylindre BP a eu pour effet d'améliorer le vide au condenseur, qui a passé de 635^{mm} à 640^{mm} de mercure à 680^{mm} et 700^{mm}.

On remarquera que, pendant cette sortie, le volume d'eau actionné en une seconde par les roues du *Pas-de-Calais* n'a été que de 145^{m³}, 60, soit 0,804 de celui actionné par les roues primitives du *Nord*. C'est, en sens inverse, presque la même proportion que pour la variation des utilisations. Il semble donc qu'au point de vue de l'utilisation il y aurait eu encore intérêt à réduire un peu la surface des pales, s'il n'y avait eu lieu de craindre de faire tomber le rapport $\frac{2b^2}{B^2}$ à une valeur trop faible à d'autres points de vue.

Le retour de la traversée comparative du 26 janvier fut exécuté à grande vitesse, afin de se rendre compte des efforts et ordonnées moyennes correspondant à cette marche.

La vitesse réalisée, après correction due à un courant favorable, qui augmentait la vitesse, a été trouvée de 19ⁿ, 70, avec 47¹, 2. La machine se comporta très bien. Ses conditions de marche sont indiquées au tableau II, sur lequel on peut constater que, malgré une puissance de 6555^{chx}, l'ordonnée moyenne totalisée n'a pas dépassé 3^{ks}, 660, et que la pression maxima sur les pistons, qui est aussi la cause maxima de fatigue des organes de la machine, était à peu près la même que pour une puissance de 5250^{chx} avec les roues primitives.

Il résulte de toutes ces observations que le programme qui nous avait été tracé par M. du Bousquet, pour le remplacement des roues, a été largement rempli, et que la fatigue de la machine et des roues a été réduite de 20 pour 100 environ, tout en obtenant une augmentation d'utilisation, pour la vitesse de service, de 10 pour 100 environ.

Il faut ajouter que les nouvelles roues fonctionnent sans aucun choc à l'entrée, et que la quantité d'eau remontée dans les tambours a été très notablement réduite. La régularité de rotation a été elle-même fortement améliorée, tant par l'augmentation du nombre de tours, que par la meilleure répartition du travail entre les cylindres.

Je crois devoir, en terminant cette note, adresser tous mes remerciements à M. de Saint-Amand, Sous-Ingénieur du Service, qui s'est occupé tout spécialement de réunir tous les renseignements nécessaires, et de surveiller l'exécution des épures, ainsi qu'à MM. de Courville et Kraft, qui ont bien voulu m'aider de leur expérience.

CANOTS AUTOMOBILES,

PAR M. ALPHONSE TELLIER,
Ingénieur-Constructeur.

L'année dernière, à pareille époque, je vous entretenais des courses qui venaient d'avoir lieu en Méditerranée, en faisant une revue rapide des canots qui y avaient pris part, et je terminais en disant: « Du reste, les prochaines courses à la mer, Semaine maritime au Havre, Boulogne, Folkestone, etc., etc. montreront que l'expérience a profité, car les leçons, quoi qu'on en ait dit, ne peuvent être données que par la course elle-même. C'est pourquoi l'*International Sporting Club*, en créant son magnifique meeting, et en le dotant de 100000^{fr} de prix, a plus fait pour la navigation automobile, et plus particulièrement pour le passionnant problème de la vitesse, que toutes les théories qui auraient pu être émises, mais n'auraient jamais été appliquées dans des conditions aussi complètes et aussi sûres. »

J'ai donc pensé qu'il serait peut-être intéressant de vous communiquer les résultats du dernier meeting.

Il y avait, comme les années précédentes, du reste, deux catégories principales:

1° Les *racers*, classés en trois séries, d'après leur *longueur seule*.

Première série. — Canots jusqu'à 8^m.

Deuxième série. — Canots de 8^m à 12^m.

Troisième série. — Canots de 12^m à 18^m.

2° Les *cruisers* classés d'après les éléments suivants :

1° La longueur, donnant lieu à 4 séries; 2° la puissance des moteurs; 3° le nombre de places disponibles; 4° la hauteur du franc-bord; 5° le maître bau.

Ces éléments sont définis dans les articles suivants; les séries des embarcations de plaisance sont basées sur la longueur mesurée, comme pour les *racers*.

1° La première série comprend les embarcations de 6^m, 50 et au-dessous. La deuxième série comprend les embarcations de 6^m, 50 à 8^m. La troisième série

comprend les embarcations de 8^m à 12^m. La quatrième série comprend les embarcations de 12^m à 18^m.

2° Dans chaque série, il y a limitation de force du moteur, cette limitation est obtenue par celle du volume de la cylindrée, tel qu'il est défini plus loin.

La cylindrée est de 2^l,5 pour les canots jusqu'à 6^m,50 ; 3^l,750 pour les canots jusqu'à 8^m ; 7^l,500 pour les canots jusqu'à 12^m ; 15^l pour les canots jusqu'à 18^m.

3° Nombre de personnes. Les bateaux de plaisance devront pouvoir porter pendant la course, en toute sécurité, un nombre de personnes adultes, suffisamment à l'aise ; le nombre est égal à la longueur du bateau exprimée en mètres moins un, chaque fraction de mètre comptant pour un mètre. Toutefois, pour les bateaux de moins de 6^m,50, où le coefficient d'utilisation est moins grand, ce nombre est fixé à 4 personnes seulement. Les passagers pourront être remplacés par du lest, à raison de 70^{kg} par passager manquant, sans que la place disponible à bord soit moindre que celle pouvant recevoir les passagers exigés. Cette place est fixée à 0^m,45 au minimum dans les trois dimensions.

4° Hauteur du franc-bord. Pour les bateaux non pontés, ou partiellement pontés, le coefficient de sécurité pour la navigation sera la hauteur du franc-bord au maître-couple.

Celle-ci ne sera jamais inférieure en charge à 0^m,20 + 0^m,03 $\frac{L}{L}$, $\frac{L}{L}$ étant la longueur de la coque proprement dite. Le franc-bord est mesuré en charge au maître-couple avec l'armement réglementaire et l'approvisionnement de combustible.

L'hiloire ou tout autre artifice ne compte pas pour le franc-bord, qui se termine avec la coque proprement dite, soit que celle-ci se termine par une arête vive ou par un arrondi.

5° Largeur du maître-bau ou maître-couple. Cette largeur sera au minimum déterminée par la formule : $0,60 + \frac{L}{8}$, $\frac{L}{8}$ étant la longueur du canot, comme elle est définie plus haut.

L'année dernière je ne vous avais pas parlé des cruisers, mais devant leur nombre imposant cette année, je crois utile de les passer rapidement en revue, en commençant par la petite série des 6^m,50, qui est la plus répandue, et dont la faveur s'explique facilement, par le prix de revient minimum du transport, et la commodité de ne courir qu'avec 4 personnes.

Comme les moteurs faits pour courir à la cylindrée donnent environ 8^{chx} par litre du volume engendré par les pistons, le moteur de ces canots développe environ 20^{chx} ; d'un autre côté, tout étant sacrifié à la vitesse, l'arbre d'hélice est attelé le plus souvent directement sur le moteur, sans changement de marche, ni même d'embrayage, la coque construite en bordé simple de 5^{mm} sur de très petites membrures de 8^{mm} sur 12^{mm}, est réduite à sa plus simple expression comme installation ; les bancs sont en bois de sapin ; il est

des canots où les planchers sont enlevés le jour de la course, et ce sont des cruisers!! Le déplacement total d'un de ces petits bateaux est d'environ 700^{kg}, et la vitesse réalisée par le premier, le *Mendelssohn*, étant de 13ⁿ,5 environ, le coefficient d'utilisation M dans la formule

$$V = M \sqrt[3]{\frac{P}{D^{\frac{2}{3}}}}$$

est de 4,35, pour une puissance de 35^{chx} par tonne de déplacement; on voit donc de suite que ce sont des bateaux très fins.

Malgré cela c'est une très bonne utilisation pour des canots aussi petits.

Dans la deuxième série des cruisers, nous voyons le *Mendelssohn-II*, du même type que le précédent, c'est-à-dire en fer à repasser, sans exagération, puis le *Livorno*, bateau Italien, construit par Gallinari, de Livourne, avec moteur Fiat, brion très arrondi et très profond, avec des sections horizontales extrêmement fines, concaves même, arrière modérément large et très plat; ce bateau se distingue des autres, comme du reste tous ceux de Gallinari, par une tonture très particulière, et du reste peu élégante; en effet, la tonture arrière, sur environ $\frac{1}{4}$ de la longueur, est cassée, et s'abaisse brusquement en plan incliné; cela à notre avis n'a pas de raison d'être; cette forme cassée vif est même plutôt nuisible. Pour donner une bonne rigidité à ces canots, nous avons fait du reste dès 1899 pour le *Binger*, racer de 12^m, une tonture en arc de cercle renversé, donnant un tableau de hauteur presque nulle; or, avec le cintre habituel de la quille de nos bateaux, ces deux arcs contraires donnaient le maximum de rigidité; mais nous n'employons plus ce système, car dans la suite, et pour des bateaux puissants, nous lui avons reconnu des inconvénients assez sérieux. Ces bateaux Italiens sont construits très légèrement, à simple bordé mince, toujours sur de petites membrures ployées très rapprochées; ils sont du reste construits très soigneusement. L'*Excelsior-VIII*, à fond tout plat avec les flancs carrés: c'est somme toute un véritable *Sharpie*, du type du reste de celui qui avait gagné cette série l'année dernière, le *Mais-je-vais-piquer*, du type de l'ancien *Trèsle-à-quatre*, mais naturellement des lignes beaucoup plus pleines; puis encore un Italien, le *Florentia-IV*, type exagéré, grand tirant d'eau à l'avant, qui est très fin et même creux.

Le gagnant de cette série fut l'*Excelsior*, qui fit une vitesse de 11ⁿ,6 par un temps assez mauvais.

Mais la plus importante série des cruisers était celle de 12^m: 12 concurrents:

Trois de Gallinari: le *Pampero*, moteur Fiat, le *Zust*, moteur Zust, coques semblables, et le *Labrone*, à moteur Delahaye, type *Sharpie*.

Le *Calypso*, moteur Mors, le même que celui du *Forcès-Pas* de l'année dernière. Ce moteur pour le classement à la cylindrée a un rendement excellent. En effet, pour 125^{mm} d'alésage, et 150^{mm} de course, il fait 64^{chx} à

1200 tours seulement, ce qui correspond à $8^{\text{chx}},75$ par litre de cylindrée, et une vitesse linéaire de 6^{m} ; il est vrai qu'il est à très forte compression.

Le *Quick-Silver*, construit par Saunders, en bordé cousu, avec moteur Daimler, construit en Angleterre.

Le *Delahaye-Nautilus*, bateau de l'année dernière, mais avec moteur Delahaye, nouveau type à soupapes commandées, de 135^{mm} d'alésage et 130^{mm} de course, développant 64^{chx} à 1600 tours, par conséquent $8^{\text{chx}},6$ par litre, mais $6^{\text{m}},93$ de vitesse linéaire.

Excelsior IX, bateau plat, même type que le 8^{m} du même nom.

Le *Mais-je-vais-quand-même*, même type que le *Mais-je-vais-piquer*.

Féfé-II, coque en construction légère, franc bord ordinaire, formes moins exagérées que les précédentes, moteur Filtz de 40^{chx} .

Puis le *Glaive* et le *Berliet-VII* plus lourds, et moins faits pour la course.

Le gagnant de cette série fut le *Calypso*, qui fit une moyenne de $18^{\text{n}},4$, ce qui est joli pour un cruiser, même de course.

Puis la série de 8^{m} à 12^{m} .

La *Lorraine* avec moteur Dietrich de 100^{chx} , forme classique, construction à double bordé.

Le *Fiat XII*, par Gallinari, et de son type habituel.

Florentia-III, même type que le *Florentia* de 8^{m} .

Nautilus-Turgan, avec formes exagérées, sections transversales entièrement en V à partir du milieu, arrière très plat, construction double bordé.

Le *Pampa*, construit par Baglietto; ce bateau a l'aspect général de ceux de Gallinari, mais en diffère sensiblement, lorsqu'on l'examine de plus près: bateau bien défendu, mais très fin comme sections, deux hélices Thornycroft, actionnées par deux moteurs Fiat de 50^{chx} .

Nous avons terminé pour les cruisers, qui n'ont de cruisers que le nom, car ce sont de vrais racers déguisés, en un mot des racers à dimensions imposées. Il est facile de comprendre qu'avec le classement à la cylindrée, très bon en lui-même, parce que c'est le plus simple, tout est sacrifié au moteur, et il arrive ce fait bizarre, c'est que maintenant, et justement à cause de cela, ces bateaux sont construits plus légèrement que les racers; il faudrait à notre avis imposer un poids total, sans pour cela l'exagérer. Ce supplément de poids servirait à renforcer ces coques, qui sont, réellement, ridiculement trop faibles comme échantillons.

Quant aux progrès réalisés, ils sont indéniables, car, cette année, les cruisers de 12^{m} ont fait avec des personnes ou du lest la même vitesse que les racers de 150^{chx} , et cela avec les mêmes cylindrées, et il y a eu progrès sur tout, coque, moteur et hélice, car ces moteurs de $7^{\text{l}},50$ faisaient à cette époque 54^{chx} ; il y a donc eu un gain de 10^{chx} , c'est-à-dire presque $\frac{1}{2}$.

Maintenant, en examinant les racers, et en commençant par la série de 8^{m} , nous trouvons l'*Antoinette IV*, bateau très large et très plat, ras sur l'eau et arrière tombant comme ceux de Gallinari. Brion très arrondi; comme moteurs

deux groupes Levavasseur de 8 cylindres chaque, montés en tandem, soit 16 cylindres de 130^{mm} d'alésage et de 130^{mm} de course, développant ensemble 160^{ch}; la cylindrée totale de ce moteur est de 27^l,6; le poids de ce moteur est très réduit, environ 1^k2,875 parcheval, soit, pour l'ensemble du moteur, 300^k5; l'économie réalisée sur le poids est encore plus sensible, si l'on tient compte qu'avec ses 16 cylindres, ce moteur n'a pas besoin d'être mis en route à la manivelle, sauf pour la première fois. De plus, comme l'arbre de la distribution est décalable au moyen d'une simple manette, il n'y a qu'à mettre le contact, pour que le moteur parte dans un sens ou dans l'autre; avec les 16 cylindres en V, le volant est extrêmement réduit, c'est du reste un simple plateau; on gagne donc ainsi le poids de l'embrayage et du changement de marche. Ce moteur n'a pas de carburateur proprement dit; une petite pompe à essence, à réglage micrométrique, et commandée par le moteur, distribue l'essence goutte à goutte, au-dessus de chaque soupape d'admission, qui est automatique; le graissage a lieu également par pompe; les cylindres sont des tubes de fonte, tournés partout, avec les enveloppes d'eau en cuivre; les culasses sont en aluminium. C'est un moteur qui est certainement très bien étudié.

La vitesse réalisée par ce bateau ayant été de 23ⁿ,4, le coefficient d'utilisation M, en fonction de la puissance $\frac{2}{3}$ du déplacement, est de 4,1, en le calculant avec les chiffres officiels que j'ai pu me procurer, mais qui, s'ils ne sont pas rigoureusement exacts, sont en tous cas près de la vérité, et ne peuvent pas faire varier l'utilisation de plus de $\frac{1}{10}$.

La Rapière-II, du type de la précédente, mais améliorée, comme lignes et comme construction, présentait une particularité nouvelle pour un canot, c'est-à-dire le gouvernail placé en avant de l'hélice, et tout à fait à bâbord, à 0^m,40 de l'axe du bateau, dispositif ayant pour but de le soustraire complètement aux actions perturbatrices du cylindre d'eau actionné par l'hélice, et en même temps d'empêcher les filets liquides déviés par lui de venir influencer le cylindre actionné; avec cette installation, la stabilité de route était parfaite, et le bateau gouvernait droit sans toucher à la barre, bien que dans ce canot comme dans les autres, du reste, le plan de résistance latéral soit très réduit, par le brion assez considérable, et la suppression complète du plan mince arrière.

Il y a aussi une autre raison qui nous a conduit à ce dispositif. A Monaco, comme dans toutes les courses, du reste, les virages se font sur bâbord; par conséquent, au moment du virage, qui se fait naturellement à toute vitesse, le bateau est soumis, en plus du couple de torsion dû à l'hélice, qui presque toujours a un pas à gauche, à la force centrifuge; il gite donc sur tribord, quelquefois de 30°, ce qui arrive à compromettre sérieusement la stabilité; le gouvernail désaxé produit un effet contraire, et même supérieur aux autres réunis, car le bateau gite sur bâbord, ce qui contribue encore à augmenter les qualités évolutives.

Comme le nouveau moteur de 130^{chx} n'était pas prêt, ce fut un moteur Panhard-Levassor, identiquement pareil à celui de la *Rapière* de l'année dernière, 100^{chx} à 1000 tours, avec une course de 170^{mm} et un alésage de 170^{mm}, soit une cylindrée de 15^l,416, et une vitesse linéaire de 5^m,67. Bien que la coque fût de 100^{kg} plus lourde que l'ancienne, 0^m,20 plus large et 0^m,10 plus creuse, par conséquent moins fine, la vitesse resta la même, c'est-à-dire 23", avec un coefficient d'utilisation de 4,9.

Le *Sea-Sick*, identiquement pareil à la *Rapière*, comme formes et construction, mais actionné par un moteur Itala développant 120^{chx} à 1200 tours, avec un alésage de 185^{mm} et une course de 150^{mm}, cylindrée 16^l,64, soit 7^{chx},2 par litre pour une vitesse linéaire de 6^m,20 ; le déplacement est de 1^t,350, c'est à-dire supérieur à celui de la *Rapière* de 150^{kg}. L'utilisation est de 5,7 ; c'est la meilleure que nous ayons obtenue jusqu'à présent.

Celle du canot précédent étant de 4,9, il y a un gain de $\frac{1}{4}$ environ, dû en grande partie, croyons-nous, à une nouvelle hélice, dont les rapports des différents éléments entre eux ont été calculés à la suite d'études successives, faites sur un certain nombre de nos bateaux.

Dans la deuxième série des racers, nous trouvons le *Yarrow-Napier*, longueur 12^m, coque construite en bois cousu par la Saunders C^{ie}, actionné par deux moteurs Napier de 100^{chx} placés côte à côte.

A ce propos, il est curieux de constater, en passant, la véracité de ce que nous disions relativement à la supériorité des coques en bois sur celles en acier, pour ces canots, puisqu'une des premières maisons Anglaises de construction en acier fait construire son racer en bois, sur un plan identique à celui de l'année dernière qui, lui, était en tôle.

Le *Caflit*, longueur 12^m, construit par notre chantier, à double-bordé en bois de cèdre, sur membrures alternées, ployées à la vapeur, et chantournées. Sur nos indications, les deux moteurs Itala de ce canot furent construits côte à côte sur le même bâti en aluminium ; c'est, pensons-nous, la première installation de ce genre qui ait été faite ; elle permet de réduire au minimum l'encombrement de deux moteurs à 4 cylindres, d'un alésage de 185^{mm}, et d'une course de 155^{mm} ; la puissance totale est de 250^{chx}, et les deux hélices, tournant à 1200 tours, peuvent imprimer au bateau une vitesse de 30 nœuds ; malheureusement, une modification à la tuyauterie de graissage empêcha ce canot de prendre part aux courses, mais nous le reverrons dans l'année.

Puis, le *Fiat-XIII*, de 12^m, construit par Taroni, très légèrement, sur de très petites membrures ployées, très rapprochées ; actionné par deux moteurs *Fiat*, placés en tandem, et de 125^{chx} chacun ; la mise en route s'effectue par l'air comprimé ; vitesse obtenue dans la Coupe du Prince de Monaco, 27 nœuds.

Le *Mercédès-Paris*, construit par M. Chevreux, à double-bordé, longueur 12^m, coque très défendue, avec des lignes convexes partout ; actionné par

deux moteurs *Mercédès* 6 cylindres de 150^{chx} chaque, et placés côte à côte; installation mécanique très bien étudiée, avec mise en route par l'air comprimé; triple allumage, par accumulateurs, par magnéto, à rupteurs, et magnéto à bougies. Ce bateau figura à l'Exposition, mais ne put être prêt à temps pour courir.

Enfin la troisième série, où nous retrouvons le *Dubonnet*, 15^m, actionné cette fois par deux moteurs *Dietrich* de 100^{chx} chaque, et placés en tandem, ce qui démontre entre parenthèses que sa coque, que l'on prétendait avoir été disloquée l'année dernière par le gros 4 cylindres de 300^{chx}, était encore en parfait état.

Le *Delahaye*, 18^m, construit en acier par de la Brosse et Fouché, actionné par un moteur *Delahaye* de 300^{chx}, mise en route par moteur auxiliaire de 12^{chx}; ce moteur sert également d'évolueur pour les manœuvres dans les ports; la vitesse réalisée par ce bateau dans le championnat de la mer fut de 23 nœuds.

Le *Mercédès D-L*, construit en acier, actionné par deux moteurs *Mercédès* à régime lent, de 100^{chx} chaque; ce bateau, bien marin, était trop lourd pour faire un racer.

Puis, le *Mercédès W-N*, actionné par un groupe *Mercédès* 8 cylindres de 200^{chx} à régime lent, construit en acier à Bremerhaven sur les plans d'un ingénieur Autrichien, d'une forme très bizarre, avec un profil longitudinal en chapeau de gendarme; ce bateau de forme défectueuse faisait des lames énormes, et l'utilisation devait être très mauvaise.

Comme on a pu le voir, les résultats ont été, dans l'ensemble, supérieurs à ceux de l'année dernière; il est juste de dire que, si les vitesses réalisées ont été inférieures en général (sauf pour les cruisers) à celles de l'année dernière, c'est que les coques des racers étaient beaucoup plus solides, et plus marines, par conséquent plus résistantes.

Nous avons vu également l'effort considérable fait par les Italiens, tant pour les coques que pour les moteurs, seulement ils dépendent toujours de l'Angleterre pour leurs hélices.

Du reste, nous ne pouvons qu'applaudir à cette concurrence, car de cette lutte acharnée sortiront de nouveaux perfectionnements, avec lesquels il sera possible d'obtenir des utilisations et des vitesses insoupçonnées il y a seulement quelques années.

Résultats qui, nous ne cesserons de le répéter, sont uniquement dus à la course et plus spécialement au meeting de Monaco.

DE LA

GRANDEUR ABSOLUE DES CUIRASSÉS D'ESCADRE

EN FONCTION DE LA VITESSE,

PAR M. J.-A. NORMAND.

La guerre Russo-Japonaise, et, plus particulièrement, la bataille navale de *Tsu-Shima*, ont fait revivre la discussion sur la valeur de la vitesse pour les bâtiments de combat. On ne peut pas dire qu'elle ait jeté beaucoup de lumière sur la question, des conséquences diamétralement opposées ayant été tirées des événements.

D'un côté, une réduction de vitesse permet de donner à un bâtiment de combat, de dimensions déterminées, une plus grande puissance offensive et défensive, ou de diminuer, celles-ci restant les mêmes, sa grandeur absolue, et, par conséquent, pour une même dépense initiale, d'augmenter le nombre des unités, et de mettre en ligne une artillerie plus forte.

Les considérations d'accès des ports et d'utilisation de leur outillage, d'emploi possible dans les escadres, sans que leur homogénéité soit compromise, d'unités anciennes et peu rapides, des mers ou canaux dans lesquels les escadres doivent opérer, des proportions de machines et des conditions d'installation et de service des soutes à munitions, d'autant plus favorables que la vitesse est moindre, militent également en faveur d'une faible vitesse.

D'un autre côté, la grande vitesse peut être réclamée pour des raisons stratégiques ou tactiques.

La question ne peut être traitée rigoureusement, que si l'on connaît la loi de variation de la grandeur absolue des grands bâtiments de combat avec la vitesse, quand les puissances offensive et défensive ainsi que le rayon d'action restent les mêmes.

La recherche de cette loi forme l'objet de la présente note.

Soit un grand cuirassé d'escadre peu différent du type Anglais *Commonwealth*, de la dernière série dont les résultats soient connus.

Longueur totale de la carène (L).....	138 ^m
Largeur maxima de la carène.....	23 ^m , 80
Tirant d'eau.....	8 ^m , 15
Hauteur du pont supérieur au-dessus de la flottaison, au milieu de la longueur :.....	6 ^m , 20
Surface immergée de la mâture section (B ²) ...	1800 ^m ²
Déplacement en charge avec approvisionnement normal de charbon de 1000 ¹² (D)	16600 ¹²
Puissance maxima.....	18000 ^{chx}
Vitesse correspondante (V).....	19 nœuds
Poids de l'appareil moteur complet avec eau	1800 ¹²

Artillerie (IV 305^{mm}; IV 243^{mm}; X 152^{mm}; XIV 75^{mm}; XIV 47^{mm}). — Cette artillerie, qui est celle du *Commonwealth*, paraît comporter un trop grand nombre de calibres divers; mais le poids qu'elle représente est à peu près celui d'un armement de composition plus moderne d'un bâtiment de l'espèce.

Protection. — Elle comprend une cuirasse extérieure s'élevant dans la partie centrale jusqu'au pont supérieur, et d'une épaisseur de 230^{mm} à la flottaison, se réduisant à 160^{mm} au pont supérieur. La protection des extrémités est faible, surtout à l'arrière.

Recherchons d'abord quel supplément de déplacement disponible fournirait une réduction de vitesse d'un nœud.

Ce supplément se compose de trois parties principales :

1° *L'augmentation de déplacement résultant de la diminution de l'acuité.*

Reprenons la formule de la vitesse normale maxima (1)

$$1,4 \frac{1,026 B^2 L - D}{1,026 B^3} B^{\frac{1}{2}}.$$

Elle exprime que cette vitesse est proportionnelle à l'acuité (terme fractionnaire) et à la racine carrée des dimensions linéaires ($B^{\frac{1}{2}}$), suivant la loi de Reech et Froude.

On a pu voir, dans le tableau annexé à la note citée, que les vitesses ainsi calculées se rapprochent des vitesses maxima réalisées, ou, du moins, qu'elles suivent sensiblement la même loi de variation; la formule paraît donc conforme, à la fois, à la théorie et à la pratique.

Le coefficient 1,4 est un chiffre moyen.

(1) *Règles approximatives pour le calcul de la surface propulsive* (Bulletin de l'Association Technique Maritime, 1899, p. 7)

Calculons pour un grand bâtiment ayant réalisé une vitesse maxima V , le coefficient K tel que

$$(1) \quad V = K \frac{1,026 B^2 L - D}{1,026 B^2} B^{\frac{1}{2}}.$$

On est en droit d'admettre que, si l'on réduit la vitesse de ce bâtiment-type d'un nœud, B^2 et L restant les mêmes (telles sont les conditions de notre problème), et que l'on fasse varier le déplacement D de telle sorte que K conserve la même valeur, l'utilisation ne variera pas; dans les deux cas, l'eau sera déplacée dans un temps égal.

La formule (1), différenciée par rapport à V et à D , seules variables, donne

$$\frac{dD}{dV} = - \frac{1}{K} \frac{1,026 B^2}{B^{\frac{1}{2}}},$$

ou, en remplaçant $B^{\frac{1}{2}}$ par sa valeur tirée de (1), et en remarquant que, le coefficient ci-dessus étant constant, on peut remplacer les différentielles par les différences finies :

$$(2) \quad \frac{\Delta D}{\Delta V} = - \frac{1,026 B^2 L - D}{V}.$$

D'après les éléments du cuirassé-type donnés plus haut, on trouve pour K la valeur 1,446, qui représente une acuité élevée pour un bâtiment de l'espèce, et la formule (2) donne, pour $\Delta V = -1$,

$$\Delta D = 468^{12}.$$

La surface, et, par conséquent, le poids de la coque étant légèrement augmentés, nous admettrons seulement comme supplément disponible

$$\Delta D = 450^{12}.$$

soit 2,7 pour 100 du déplacement primitif.

Pour $\Delta V = +1$, c'est-à-dire pour une augmentation, au lieu d'une réduction de vitesse, d'un nœud, la variation de déplacement est négative, et égale à -450^{12} . Du fait de l'augmentation nécessaire de l'acuité, il résulte un déficit de déplacement de 450^{12} .

2° *L'allègement dû à la réduction de puissance.*

L'acuité étant modifiée pour correspondre à la vitesse réduite, et les deux autres éléments principaux de la résistance : surfaces de maîtresse section et de carène (celle-ci n'augmente que dans une proportion négligeable) restant les mêmes, il est très probable que l'utilisation ne varie pas, et que les puissances sont dans le rapport du cube des vitesses, soit, pour une réduction d'un nœud, comme

$$\left(\frac{18}{19}\right)^3 = 0,850.$$

Si le poids de l'appareil moteur variait comme la puissance, la réduction serait

$$(1 - 0,850)1800^{12} = 270^{12}.$$

Il en est à peu près ainsi pour les appareils évaporatoires et les condenseurs; les cheminées sont, il est vrai, plus lourdes par cheval, mais le poids relatif du tuyautage est moindre, et le service du charbon exige un personnel moins nombreux, toutes proportions gardées.

Pour l'appareil mécanique, au contraire, non seulement la longueur des lignes d'arbres ne change pas, mais encore, ainsi que l'a prouvé M. Durand-Viel dans un remarquable mémoire, qui vient de paraître dans la *Revue Maritime*, pour un même rapport de pas au diamètre et une même valeur du coefficient de surface propulsive j , le poids de l'appareil mécanique (environ la moitié de celui de l'appareil moteur complet) varie comme $V^{\frac{5}{2}}$ au lieu de V^3 .

Le poids relatif de l'appareil moteur complet moins puissant est donc environ

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{18}{19} \right)^3 + \left(\frac{18}{19} \right)^{\frac{5}{2}} \right] = \frac{1}{2} (0,850 + 0,875) = 0,8615,$$

et la réduction de poids

$$(1 - 0,8615)1800^{12} = 250^{12}.$$

Cette réduction de poids se change en augmentation, si la vitesse du cuirassé-type, au lieu d'être abaissée de 19 nœuds à 18 nœuds, est relevée de 19 nœuds à 20 nœuds.

Il est intéressant de remarquer que l'appareil mécanique moins puissant se trouve dans des conditions pratiques améliorées, et maintiendra plus facilement sa puissance maxima.

M. Durand-Viel montre, en effet, dans le mémoire déjà cité, que, pour un même rapport de pas au diamètre et une même valeur du coefficient j , le rapport des dimensions linéaires des machines à celles de la coque est indépendant du déplacement, et varie comme $V^{\frac{5}{6}}$, soit presque comme la vitesse. Ou la course est conservée, ce qui est possible puisque les dimensions de coque restent les mêmes et les diamètres de cylindres sont diminués, ou les vitesses de piston sont notablement réduites.

3° La réduction du poids des œuvres mortes.

Il est difficile de l'estimer avec exactitude, bien qu'elle existe incontestablement; un navire gêné par la mer se comporte mieux, et mouille moins, lorsqu'il modère sa vitesse.

L'allure qui oblige à modérer la vitesse maxima soit pour tenir la mer sans fatigue, soit pour employer l'artillerie, est principalement celle où le navire reçoit la lame de l'avant ou de l'épaulé, le temps employé à s'élever du creux

à la crête de la lame étant inversement proportionnel à la vitesse du navire augmentée de celle de la lame. La mer la plus défavorable est celle produisant des lames courtes, et, par conséquent, de vitesses peu élevées, telles que celles de la Méditerranée.

Soit 15 nœuds la vitesse de la lame; on peut admettre que les conditions de navigabilité seront les mêmes pour le cuirassé de 18 nœuds et celui de 19 nœuds, quand, la carène ne changeant pas, les hauteurs des œuvres mortes seront dans le rapport

$$\frac{18^n + 15^n}{19^n + 15^n} = 0,9706.$$

La hauteur du pont supérieur au-dessus de la flottaison au milieu, qui est 6^m,20 dans le type, peut donc être abaissée de

$$(1 - 0,9706) 6^m,20 = 0^m,183.$$

L'épaisseur du blindage extérieur étant 160^{mm} dans les hauts, correspond approximativement, y compris la muraille qui le supporte, à 220^{mm} d'acier, et sa longueur totale pour les deux côtés et les faces transversales est 184^m. Cette longueur peut être, sans exagération, portée à 220^m, en tenant compte de la surépaisseur considérable des supports de tourelles, et des divers conduits blindés, dont la hauteur diminue simultanément.

La réduction de poids s'élèverait donc à

$$220^m \times 0^m,183 \times 0^m,22 \times 7^{1x},8 = 69^{1x},2.$$

La réduction de hauteur d'œuvres mortes de 0^m,183 par nœud ne paraît pas exagérée, si l'on songe qu'il existe des cuirassés d'escadre, dont les hauteurs sont bien inférieures à celle de notre type, par exemple le *Hood*, médiocre bâtiment de mer il est vrai, de 15600 tonneaux et de 17 nœuds et demi, où la hauteur de la plage avant n'atteint pas 4^m, chiffre inférieur de 2^m,20 au moins à celui du type.

La réduction de 0^m,183 par nœud, supposée constante, correspond donc à une réduction de vitesse du type de 10 à 12 nœuds, pour qu'il se trouve dans les mêmes conditions de hauteur d'œuvres mortes que le *Hood*.

La hauteur de commandement de l'artillerie doit, il est vrai, rester telle, que le tir ne soit pas masqué par la lame dans les circonstances de mer où le combat est possible; celle de notre cuirassé-type, 8^m,50, paraît susceptible de réduction. Du reste, la hauteur de l'artillerie en tourelles peut être maintenue, tout en réduisant celle des œuvres mortes; l'économie de poids serait encore considérable, et la fatigue des ponts, sous l'action du tir, serait très diminuée.

Nous ne compterons rien pour l'économie de poids que l'espace rendu

disponible à l'intérieur par la diminution de l'appareil moteur permettrait de faire sur les superstructures, que nous supposons réduites au minimum, comme elles doivent l'être. Nous ne parlerons également que pour mémoire de la réduction de personnel de l'appareil moteur.

Il est clair qu'une augmentation au lieu d'une réduction de vitesse d'un nœud changerait le signe de la variation de poids.

En résumé, la réduction de vitesse de 19 nœuds à 18 nœuds du cuirassé-type fournit une augmentation de déplacement de 450 tonnes et une économie de poids de $250^{\text{t}} + 69^{\text{t}} = 319^{\text{t}}$, soit une disponibilité totale de 769 tonnes (4,63 pour 100 du déplacement initial), qui peut être utilisée pour accroître soit la protection, soit l'artillerie, soit le rayon d'action, le bâtiment conservant mêmes tirant d'eau, longueur et largeur, et restant dans les mêmes conditions de navigabilité. Le déplacement, qui était 16600 tonnes, deviendrait 17050 tonnes.

La disponibilité de 769 tonnes est susceptible d'un autre emploi : elle peut être utilisée pour réduire la grandeur absolue.

On sait, en effet, qu'une économie de poids quelconque $\Delta\pi$, réalisée sur un bâtiment, permet d'en diminuer le déplacement par réduction de grandeur absolue, d'une quantité notablement plus grande $K'\Delta\pi$, la vitesse, le rayon d'action, la navigabilité, la protection et la puissance offensive restant les mêmes. Si $\Delta\pi$ représente une addition au lieu d'une économie de poids, il faut, au contraire, augmenter le déplacement par agrandissement des dimensions, d'une même quantité, $K'\Delta\pi$.

Le coefficient K' varie suivant les types de bâtiments. Il est approximativement égal à

$$\frac{\Delta D}{\Delta\pi} = \frac{3}{1 - a + \frac{2P}{D}}$$

expression dans laquelle a représente la fraction du déplacement total D employée par le poids de coque armée seule, sans blindage, ni artillerie, ni munitions, et P le poids fixe d'artillerie, tourelles, munitions, mais non le blindage de coque, qui varie comme les surfaces de coque.

Qu'on l'emploie sous cette forme, qui est celle que j'ai donnée en 1885, ou sous les formes légèrement modifiées qui ont été proposées depuis lors, on trouve que, pour les cuirassés du type considéré, K' est peu différent de 2,5.

Si donc la disponibilité de 769^t était appliquée à réduire la grandeur absolue du navire, le déplacement diminuerait de

$$769^{\text{t}} \times 2,5 = 1922^{\text{t}}$$

et deviendrait

$$16600^{\text{t}} + 450^{\text{t}} - 1922^{\text{t}} = 15128^{\text{t}}.$$

Pour une réduction de vitesse de deux nœuds au lieu d'un, le déplacement,

à 17 nœuds au lieu de 19 nœuds, serait environ

$$16600^{1x} + 450^{1x} \times 2 - 1922^{1x} \times 2 = 13656^{1x}.$$

Ce chiffre est trop faible, et doit être plutôt estimé à 13800^{1x}, car des variations correspondant à des différences de 2 nœuds sont trop grandes pour être calculées exactement par un coefficient différentiel; il faut tenir compte, en outre, de ce que l'acuité de la carène doit augmenter légèrement à vitesse égale, quand la grandeur absolue diminue.

En résumé, on voit que, si les calculs précédents sont exacts, en prenant pour unité le déplacement d'un cuirassé d'escadre de 16600^{1x}, 18000^{chx} et 19 nœuds, les déplacements de cuirassés analogues ayant mêmes puissances offensive et défensive, même rayon d'action, mêmes qualités de navigabilité, et ne différant que par la vitesse, sont approximativement

à 17 nœuds	0,83
à 18 »	0,91
à 19 »	1,00
à 20 »	1,10
à 21 »	1,20

A 17 nœuds, le déplacement atteindrait environ 13800^{1x}, et, à 21 nœuds, 20000^{1x}.

Étant donné que le tirant d'eau des grands cuirassés d'escadre peut difficilement être augmenté, et que la hauteur disponible pour les machines reste sensiblement constante, on reconnaît que les proportions de celles-ci, supposées alternatives, deviennent de plus en plus défectueuses, à mesure que les vitesses augmentent. A ce point de vue spécial, les turbines à vapeur présentent de sérieux avantages.

La comparaison des cuirassés type *Kansas* et de ceux type *Idaho* actuellement en construction dans la Marine Américaine semble confirmer les résultats calculés plus haut.

L'artillerie très puissante et la protection sont presque identiques dans les deux cas; mais les déplacements sont 16000^{1x} et 13000^{1x}, et les puissances 16500^{chx} et 10000^{chx} respectivement.

Les bâtiments n'étant pas livrés, on ne connaît pas exactement les vitesses; mais, en admettant même utilisation pour les deux types, on trouve que, pour 18ⁿ,5 du *Kansas*, l'*Idaho* atteindrait 16ⁿ,5.

A cette différence de 2 nœuds correspond un rapport des déplacements égal à 0,814.

Ce résultat concorde avec la règle pratique donnée ci-dessus.

Le monde maritime se préoccupe actuellement du *Dreadnought*. Quelles que soient les différences encore très imparfaitement connues entre ce cuirassé, célèbre avant d'être né, et les plus puissants de construction

récente, dans l'artillerie, la protection et les machines motrices, il n'en doit pas résulter de changement dans les formules données plus haut. Seules, les constantes seraient plus ou moins modifiées.

Je suis le premier à reconnaître que, dans les calculs qui précèdent, une large part est laissée à l'hypothèse.

Le problème dont j'ai essayé de donner une solution approximative présente un vif intérêt, et mériterait une étude plus complète.



LES NAVIRES DE GUERRE EN CONSTRUCTION

AUX ÉTATS-UNIS,

PAR M. HENRY WILLIAMS,
Ingénieur de la Marine des États-Unis.

L'aimable invitation du Secrétaire de l'Association me procure le très grand plaisir de contribuer à ses travaux par un court mémoire sur la construction navale aux États-Unis. Il servira, je l'espère, à prouver combien j'apprécie l'honneur que l'Association a bien voulu me faire récemment, en m'admettant au nombre de ses membres.

Estimant qu'il ne convient pas à un membre nouveau d'entreprendre devant un corps scientifique aussi distingué la discussion de sujets trop sérieux, je bornerai autant que possible mes remarques à un tableau de l'état actuel de la construction navale, en ce qui concerne les navires de guerre, en indiquant les divers plans adoptés, et les influences qui ont conduit à l'adoption de chacun d'eux, ainsi que celles actuellement en jeu, qui affecteront probablement les plans à venir. J'ajouterai quelques renseignements sur des sujets, que je considère comme d'un intérêt général pour les membres de l'Association.

L'année 1906 sera marquée par l'achèvement de l'armement d'un nombre de navires de guerre supérieur à celui des années précédentes, et probablement à celui des années prochaines. Cela tient à diverses causes. En premier lieu, immédiatement après la guerre avec l'Espagne, et pendant les années suivantes, où la politique extérieure des États-Unis a subi un changement si complet, le Congrès a autorisé chaque année la construction de plus de grands navires que précédemment. Ils ont été mis en main d'année en année dans les différents chantiers; mais, grâce à l'émulation qui en est résultée, tant entre eux qu'avec les arsenaux du gouvernement, dont je parlerai plus tard, la vitesse de construction s'est grandement accrue, de sorte qu'on voit dans le même chantier, arrivés presque au même état d'avancement, des navires autorisés en 1899, et d'autres autorisés seulement en 1902. On peut prédire à coup sûr, que, dans l'avenir, la construction sera beaucoup plus

rapide que par le passé, et que l'achèvement sera réalisé dans les délais spécifiés aux contrats.

Une des causes les plus sérieuses de retards a été dans le passé la difficulté qu'on éprouvait à obtenir une livraison rapide des matériaux d'acier, des blindages et des canons. Cela tenait à l'insuffisance des moyens d'exécution, et à une demande excédant la production. Bien que cette difficulté n'ait pas été encore complètement surmontée, elle a été grandement amoindrie, et il est maintenant possible d'obtenir la livraison des matériaux, y compris le matériel électrique, beaucoup plus rapidement qu'autrefois.

Cette année sera également signalée par l'achèvement du premier cuirassé construit par un des arsenaux du gouvernement, en concurrence directe avec un chantier privé. C'est le *Connecticut*, cuirassé de 16000 tonnes de déplacement. Le budget de la Marine pour 1902 ouvrait un crédit pour la construction de deux de ces cuirassés, et stipulait que l'un d'eux serait construit dans un des chantiers de l'État. L'arsenal de New-York fut désigné pour construire le *Connecticut*, et le contrat de construction de l'autre navire fut donné à la Newport News Shipbuilding Co. Il y eut une grande émulation entre ces deux établissements, émulation dont le résultat sera pour ces deux navires un achèvement plus rapide que pour aucun de ceux qui les ont précédés. Cela a également produit une amélioration des constructions dans tout le pays, et tous les navires sont maintenant construits plus rapidement qu'ils ne l'étaient jusqu'ici.

A la fin de la guerre avec l'Espagne, et comme résultat direct de l'expérience ainsi obtenue, on attacha une grande importance à l'artillerie moyenne, et l'on fit peu d'attention aux canons de gros calibre. Il résulte de ces idées, que nous avons aujourd'hui, terminés ou sur le point de l'être, trois croiseurs de la classe *Charleston*, déplaçant environ 10000 tonnes, d'une vitesse de 22 nœuds, qui ne portent pas de canons d'un calibre supérieur à 6 pouces. A la même époque, se manifesta également un courant d'opinion favorable aux tourelles superposées, d'où résultèrent les cinq cuirassés de la classe *Virginia*, qui ont deux couples de tourelles superposées, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Chaque couple de tourelles renferme dans la tourelle inférieure deux canons de 12 pouces, et dans la supérieure 2 canons de 8 pouces. Chaque couple de tourelles tourne simultanément, et, elles sont disposées de telle façon qu'une seule personne peut les faire évoluer. Chacune des quatre pièces peut être pointée en hauteur, et tirée indépendamment des autres et de postes différents. Les munitions des canons de 8 pouces montent en traversant les tourelles des canons de 12 pouces. Il y a en outre de chaque bord une tourelle renfermant deux canons de 8 pouces, qui peuvent tirer de l'extrême avant à l'extrême arrière. Bien que l'opinion soit encore très favorable aux tourelles superposées, il n'est pas probable qu'on revienne à ce dispositif. Aucun des navires de cette classe n'a encore été mis en service

actif, mais les installations semblables des cuirassés *Kearsarge* et *Kentucky* ont donné de bons résultats en service, et les officiers qui ont servi à bord de ces navires se sont déclarés satisfaits de leur fonctionnement. Il est très probable toutefois que, quand on aura pu mieux comparer ces installations avec celles de navires plus modernes, qui n'ont pas ce dispositif, les officiers intéressés ne seront plus aussi satisfaits.

L'accroissement de facilité de manœuvre de gros canons, de rapidité et de précision de leur tir, joint à l'expérience de la guerre Russo-Japonaise, a pratiquement détruit la faveur dont jouissaient les batteries d'un grand nombre de petits canons, et l'on est revenu aux armements d'un plus petit nombre de grosses pièces. On le voit dans le plan proposé pour les nouveaux cuirassés de 16000 tonnes *Michigan* et *South Carolina*. Ces deux navires ont été autorisés par le Congrès dans la Session 1904-1905; mais, l'opinion étant favorable à des navires d'un plus grand déplacement, on retarda la conclusion des contrats, dans l'intention de demander au Congrès un supplément de crédit, qui permet de construire de plus grands navires. On a finalement renoncé à ce projet, et l'on pousse rapidement les plans et spécifications de ces cuirassés. Les données principales sont les suivantes : le déplacement sera de 16000 tonnes, l'armement principal se composera de 8 canons de 12 pouces, montés par paires dans 4 tourelles placées dans le plan diamétral. Les tourelles extrêmes sont assez basses pour que les tourelles du milieu puissent tirer par-dessus leur toiture. Il y aura une batterie de canons de 3 pouces pour repousser les attaques des torpilleurs, mais il n'y aura pas de canons de calibre intermédiaire. La vitesse sera de 18 nœuds, et il est plus que probable que l'un de ces navires au moins sera muni de turbines. L'établissement des pièces principales dans le plan diamétral permet de placer les soutes à munitions loin des murailles extérieures, et réduit le danger de l'attaque des torpilles. Une autre nouveauté de ces navires est l'établissement des mâts symétriquement en dehors du plan diamétral. Chacun d'eux sera muni d'un espar pour manœuvrer les embarcations placées de chaque bord, ce qui permet d'éviter les grues installées précédemment sur les grands navires. Les logements des officiers seront installés dans la superstructure, au lieu de l'être comme jusqu'ici à l'arrière du pont principal ou de la batterie.

Il est à peu près certain que les nouveaux navires de combat, dont on attend l'autorisation par le Congrès à la présente Session, seront d'un déplacement supérieur à 18000 tonnes, ne porteront que des canons de 12 pouces comme armement principal, et auront une vitesse supérieure à 18 nœuds.

Le budget de la Marine de 1904 a autorisé la construction de trois croiseurs-éclaireurs à grande vitesse, dont le déplacement en charge est d'environ 4700 tonnes, la longueur 420 pieds, la largeur 46 pieds 8 pouces; l'armement se compose de 2 canons de 5 pouces, et de 6 de 3 pouces. Deux tubes lance-

torpilles sous-marins seront installés sur chacun d'eux. La protection des murailles, par le travers des chaudières et des machines, sera fournie par des plaques d'acier au nickel de 4 pouces. La vitesse devra être de 24 nœuds, et l'approvisionnement de charbon d'environ 1300 tonnes. L'équipage sera de 360 officiers et matelots. Il a été décidé de faire sur ces navires des essais comparatifs des principaux types de turbines connus aux États-Unis, et des machines alternatives. Dans cette intention on a traité avec les Bath Iron Works pour le *Chester*, qui sera muni de turbines Parsons; avec la Fore River Shipbuilding Co pour le *Salem*, qui sera muni de turbines Curtis, et le *Birmingham*, qui recevra des machines, alternatives à triple expansion et à quatre cylindres à deux hélices. Les contrats ont été passés en février 1904, et les navires doivent être terminés au début de l'année 1908.

Le *Chester* recevra des turbines Parsons conduisant quatre arbres. On prévoit trois vitesses de propulsion, la première et la deuxième pour des croisières à allure économique, et la troisième à toute puissance. Les variations sont obtenues, pour réaliser les petites allures, en faisant passer la vapeur par les turbines de croisière, avant d'aller aux turbines de grande puissance. Quand on voudra réaliser les vitesses maxima, on n'utilisera que les turbines de grande puissance, et la vapeur y sera amenée directement; d'autres turbines sont réservées pour la marche arrière. Les chaudières de ce navire seront du type Normand.

Le *Salem* recevra des turbines horizontales type Curtis, conduisant deux arbres, munis chacun d'un propulseur, marchant à environ 350 tours par minute. Ces turbines sont d'un type qui a été largement employé aux États-Unis, spécialement par la General Electric Co, pour la conduite de générateurs d'électricité. Elles ont donné d'excellents résultats, et des essais préliminaires indiquent qu'on en obtiendra des résultats également bons pour la propulsion des navires, bien que jusqu'ici aucune installation de ce genre n'ait été faite. Les variations de vitesse sont obtenues en ouvrant ou fermant des tuyères à vapeur dans le premier étage; la pression est réglée dans les autres étages par des valves intermédiaires. A l'arrière de chaque turbine, il y a, pour la marche en arrière, deux étages, dont les disques tournent dans le vide, quand on marche en avant.

Le *Birmingham* sera muni de deux machines alternatives verticales à quatre cylindres et à triple expansion, dont la puissance indiquée sera d'environ 16000^{chx}; la pression de la vapeur sera de 250 livres. Il y aura 12 chaudières aquitubulaires, probablement du type spécial construit par la Fore River Shipbuilding Co, et les mêmes chaudières seront installées à bord du *Salem*. Les machines seront dessinées pour une allure de 200 tours par minute.

On attache à l'avance un grand intérêt à l'exécution et aux essais de ces navires, qui permettront de déterminer, en ce qui concerne la propulsion des navires, la valeur relative de ces deux types de turbines, comparés aux machines alternatives.

La construction des sous-marins se poursuit : il y en a actuellement quatre du type Holland, en construction à la Fore River Shipbuilding Co. Huit de ces navires sont déjà en service. Parmi les quatre en construction, il y en a un de dimensions supérieures à tous ceux construits jusqu'ici pour le gouvernement.

La Lake Submarine Boat Co construit des sous-marins sur ses propres plans, mais il n'y en a pas eu jusqu'ici d'acheté pour l'usage de la Marine.

Pour le moment au moins, le type *Monitor* est en défaveur, et l'on ne prévoit pas de nouveaux navires de ce genre. Il est possible que les quatre qui ont été mis en service en 1902 et 1903 soient désarmés. Parmi les plus anciens, certains sont déjà désarmés, d'autres sont en cours de désarmement.

Actuellement il n'y a ni torpilleurs ni destroyers en cours de construction, bien que le Département de la Marine ait demandé cette année au Congrès d'autoriser l'addition de quelques destroyers.

En prévision du grand nombre de nouveaux navires à armer, on propose, pour pouvoir disposer des équipages nécessaires, de mettre en réserve un certain nombre de navires de combat et de croiseurs de types plus anciens. On en profitera pour remanier un certain nombre d'entre eux. *L'Indiana* a été récemment armé, après avoir reçu de nouveaux canons, une commande électrique des tourelles, un nouveau système de ventilation, de nouvelles chaudières aquitubulaires, etc. D'autres navires du même type subiront des modifications et réparations semblables, dès qu'ils seront disponibles.

Une question qui a soulevé de nombreuses discussions, et sur laquelle les opinions des autorités diffèrent beaucoup, est celle de l'installation des tubes lance-torpilles sur les grands cuirassés. A un certain moment, il fut décidé de les supprimer totalement. Néanmoins, le perfectionnement des torpilles, l'accroissement de facilité de manœuvre, de précision de tir et surtout de portée fit naître de nouvelles idées, qui aboutirent à la décision d'installer des tubes sous-marins sur tous les grands navires cuirassés. Actuellement il y a encore quelques discussions, pour savoir si l'on doit en mettre sur les navires en projet.

L'accroissement des dimensions des navires, et par suite de la difficulté de leur manœuvre, a conduit à proposer de supprimer le poste cuirassé de commandement, ou blockhaus. Ainsi qu'il est à prévoir, cet abandon radical d'un usage établi n'aura pas lieu sans une longue discussion, et il n'est nullement certain qu'on y arrive.

Grâce à la grande libéralité avec laquelle le Congrès a voté les fonds nécessaires pour les exercices, les pointeurs et les équipages ont fait de

grands progrès dans la rapidité et la pratique du tir, spécialement avec les pièces de gros calibres. Ces progrès ont eu une répercussion sur la construction; ils ont nécessité un accroissement de l'approvisionnement en munitions, et des facilités plus grandes pour leur transport : il a fallu augmenter le nombre et la vitesse des monte-charges. Dans les derniers navires, on a trouvé nécessaire, pour transporter les obus des soutes aux monte-charges, d'établir, dans les passages à munitions, des transporteurs horizontaux sans fin, à mouvement continu, dont certains ont 80 pieds de long. Ceux déjà installés ont été soumis à des essais de fonctionnement, et ont donné d'excellents résultats; ils ont donné une plus grande vitesse, et une plus grande commodité dans la manœuvre des munitions.

La question du doublage en bois de la carène des navires de croisière a été définitivement réglée il y a quelques années, quand on a décidé de ne pas en mettre sur les croiseurs du type *Maryland* et *Colorado*. Les résultats en service de petits croiseurs doublés ont été si mauvais, qu'il est certain qu'il n'y aura plus de navires de ce genre. Les derniers navires doublés sont les six croiseurs de 3200 tonnes du type *Chattanooga*.

L'emploi sur les navires du bois ignifugé a été définitivement abandonné il y a environ trois ans. Cette mesure se justifiait par les très mauvais résultats obtenus sur les navires qui en avaient reçu. La matière ignifugeante non seulement ne rendait pas le bois totalement ininflammable, mais encore le rendait cassant, difficile à peindre, et très corrosif pour le métal, les tentures, etc. en contact avec lui. Sur quelques navires munis de ponts en bois ignifugé, on obtint des résultats extrêmement mauvais : non seulement l'usure du bois était rapide, et l'apparence défectueuse, mais encore il était difficile de maintenir l'étanchéité. Quand on a abandonné le bois ignifugé, on a proposé d'installer un mobilier métallique dans les locaux habités, y compris les logements des officiers. Tandis que l'emploi de caissons en tôle, ou en treillages métalliques, etc., fut trouvé généralement satisfaisant dans les locaux habités par l'équipage, au contraire dans les logements des officiers, et particulièrement dans les chambres, le mobilier métallique ne donna pas toute satisfaction, et, comme il était très coûteux, son emploi a été abandonné en faveur du mobilier en bois. Ces quantités de bois, jointes au bordé des ponts exposés au tir, constituent dans l'opinion de nombreux officiers un danger sérieux dans le combat, au point de vue du feu et des éclats.

Le tableau ci-après annexé donne la liste des navires en construction au 1^{er} janvier 1906. La seconde colonne indique le nom du navire qui donne son nom à chaque type. Voici les caractéristiques principales de chacun d'eux.

TABLEAU DES NAVIRES EN COURS DE CONSTRUCTION AU 1^{er} JANVIER 1906.

Noms.	Types.	Noms des constructeurs.	Date du marché.	Date probable d'achèvement.	
<i>Virginia</i>	{	Newport News.	Février 1901.	Avril 1906.	
<i>Nebraska</i>		Moran Brothers Company.	Mars 1901.	Octobre 1906.	
<i>Georgia</i>		Bath Iron Works.	{	Juin 1906.	
<i>New-Jersey</i>		{		Mai 1906.	
<i>Rhode-Island</i>				Février 1906.	
<i>Louisiana</i>	{	Fore River Shipbuilding Company.	Octobre 1902.	Mai 1906.	
<i>Connecticut</i>		Newport News.	Août 1902.	{	
<i>Vermont</i>		Navy Yard, New-York.	{		
<i>Kansas.</i>		Fore River Shipbuilding Company.			
<i>Minnesota</i>		New York Shipbuilding C ^o , Camden N. J.			
<i>New-Hampshire</i>	{	Newport News.	Juin 1903.	Mai 1907.	
<i>Mississippi</i>		New York Shipbuilding C ^o , Camden N. J.	Décembre 1904.	Février 1907.	
<i>Idaho</i>		New York Shipbuilding C ^o , Camden N. J.	{	Janvier 1907.	
<i>California</i>		William Cramp and Sons.		Mars 1908.	
<i>South Dakota</i>	{	Union Iron Works.	Janvier 1904.	Mars 1907.	
<i>Tennessee</i>		William Cramp and Sons.	{	Juin 1907.	
<i>Washington</i>		New-York Shipbuilding C ^o , Camden N. J.		Septembre 1906.	
<i>North Carolina</i>		Newport News.		Jun 1906.	
<i>Montana</i>	{	Newport News.	Février 1903.	Juin 1906.	
<i>Saint-Louis</i>		Neafe and Levy Company.	Janvier 1905.	Février 1908.	
<i>Milwaukee</i>		Union Iron Works.	Février 1908.	Février 1908.	
<i>Chester</i>		Bath Iron Works.	Mars 1901.	Août 1906.	
<i>Birmingham</i>	{	Fore River Shipbuilding C ^o .	Avril 1901.	Octobre 1906.	
<i>Salem</i>		{	Mai 1905.	Mai 1908.	
			{	Novembre 1907.	
				Mars 1908.	

Les cuirassés du type *Virginia* ont environ 16 000 tonnes de déplacement en pleine charge, et 15 000 tonnes de déplacement normal. Ils ont 435 pieds de long, 76 pieds 2 pouces de large, 23 pieds 9 pouces de tirant d'eau; ont été tracés pour développer 19 000^{chx} indiqués, et atteindre une vitesse de 19 nœuds au déplacement normal. Quelques-uns de ces navires ont fait leurs essais, et développé effectivement environ 23 000^{chx} pour 19 nœuds. Ils portent 4 canons de 12 pouces en tourelles, 8 canons de 8 pouces en tourelles, dont 4 sont dans des tourelles superposées, et 12 canons de 6 pouces à tir rapide, avec une batterie secondaire de 12 canons de 3 pouces et d'autres de plus petit calibre. Ils ont aussi 4 tubes lance-torpilles sous-marins.

Les cuirassés du type *Connecticut* ont 17 666 tonnes de [déplacement en pleine charge, et 16 000 en charge normale avec les deux tiers des approvisionnements et des munitions. Ils ont 450 pieds de long, 76 pieds 10 pouces de large et 24 pieds 6 pouces de tirant d'eau; ont été tracés pour développer 16 500^{chx} indiqués à une vitesse, au déplacement normal, de 18 nœuds. Un de ces navires a fait ses essais, et a développé 20 800^{chx} indiqués à 18ⁿ, 8. Ils portent 4 canons de 12 pouces en tourelles, 8 canons de 8 pouces en tourelles, 12 canons de 7 pouces en batterie, avec un armement secondaire de 20 canons de 3 pouces à tir rapide, et d'autres de plus petit calibre. Ils portent aussi 4 tubes lance-torpilles sous-marins.

Les deux cuirassés du type *Mississippi* ont 14 465 tonnes de déplacement en pleine charge, et 13 000 de déplacement normal, avec les deux tiers des approvisionnements et des munitions. Ils ont 375 pieds de long, 77 pieds de large, 24 pieds 8 pouces de tirant d'eau, et ont une puissance indiquée de 16 500^{chx}, et une vitesse, au déplacement normal, de 18 nœuds. Ils portent 4 canons de 12 pouces en tourelles, 8 canons de 8 pouces en tourelles, 8 pièces de 7 pouces en batterie, et un armement secondaire de 12 canons de 3 pouces à tir rapide et d'autres de plus petit calibre. Ils auront deux tubes lance-torpilles sous-marins.

Les navires du type *Colorado* sont des croiseurs-cuirassés de 15 100 tonnes de déplacement en pleine charge, et de 13 680 de déplacement normal. Ils ont 502 pieds de long, 69 pieds 6 pouces de large, et 24 pieds 1 pouce de tirant d'eau moyen, au déplacement normal. Quelques navires de ce type ont déjà fait leurs essais, et développé, au déplacement normal, environ 27 000^{chx} indiqués, à une vitesse d'environ 22ⁿ, 3. Ils portent 4 canons de 8 pouces en tourelles, et 14 canons de 6 pouces en batterie, avec un armement secondaire de 18 canons de 3 pouces et d'autres de plus petit calibre. Ils portent deux tubes lance-torpilles sous-marins.

Les navires du type *Tennessee* sont des croiseurs-cuirassés de 15 700^t de déplacement maximum, et 14 500^t de déplacement normal. Ils ont 502 pieds de long, 72 pieds 10 pouces de large et 25 pieds de tirant d'eau moyen. Un navire de ce type a fait des essais au déplacement normal, et développé environ 27 000^{chx} indiqués avec une vitesse de 22ⁿ, 2 environ. La différence

entre les résultats de ce navire et ceux du type *Colorado* a été principalement attribuée au fait que les œuvres vives du type *Tennessee* ont été étudiées d'après des essais de modèles, qui ont permis de réaliser des formes beaucoup meilleures, et beaucoup plus économiques. Ces navires portent 4 canons de 10 pouces en tourelles, et 16 canons de 6 pouces en batterie, avec un armement secondaire de 22 canons de 3 pouces, et d'autres de plus petit calibre. Ils portent aussi 4 tubes lance-torpilles sous-marins.

Les navires du type *Charleston* sont des croiseurs protégés d'environ 11000 tonnes de déplacement en charge et de 9700 de déplacement normal. Ils ont 424 pieds de long, 66 pieds de large et 22 pieds 6 pouces de tirant d'eau moyen. Un navire de ce type a fait ses essais, et développé 27200^{chx} indiqués avec une vitesse de 22 nœuds. Ces navires portent 14 canons de 6 pouces, avec un armement secondaire de 14 canons de 3 pouces, et d'autres de plus petit calibre. Ces navires aussi ont été lancés avant l'achèvement du bassin d'essai.

Les croiseurs-éclaireurs ont déjà été décrits, quand nous avons parlé de la propulsion par turbines. Ils auront un déplacement maximum de 4700 tonnes et un déplacement normal de 3750. Ils ont 420 pieds de long, 47 pieds 1 pouce de large, et 16 pieds 9 pouces de tirant d'eau moyen. Ils auront une puissance indiquée estimée à 16000^{chx}; et une vitesse de 24 nœuds. Ils porteront 2 canons de 5 pouces, 6 canons de 3 pouces et 2 tubes lance-torpilles sous-marins.

Les navires suivants ont été terminés et livrés au Gouvernement pendant l'année 1905 : *Colorado*, *Pennsylvania*, *West-Virginia* et *Maryland*, croiseurs cuirassés du type *Colorado*; *Charleston*, croiseur protégé; *Paducah* et *Dubuque*, canonnières.

LES AVARIES DE COMBAT

PENDANT LA GUERRE RUSSO-JAPONAISE,

PAR M. C. FERRAND,

Ingénieur en chef du Génie maritime.

I.

On trouvera sans doute qu'il est trop tard pour parler utilement de la guerre Russo-Japonaise et de ses enseignements. Lors de la session de 1905 de l'Association Technique Maritime, nous avons cru devoir insister sur la nécessité de suspendre tout jugement, tant que des documents précis ne nous auraient pas été apportés par les deux adversaires. Ces conseils de prudence n'ont été suivis, semble-t-il, dans aucun pays du monde. Ainsi que j'avais eu l'occasion de le constater déjà en 1895, à propos de la bataille du Yalu, la légende fut créée avant que l'histoire ne pût être écrite. Tous les programmes de flotte, en France et à l'étranger, en cours de discussion ou d'exécution, sont basés sur de premiers renseignements d'une authenticité douteuse, — télégraphiés, nous dit M. Lorenzo d'Adda, par des témoins oculaires, qui avaient assisté de Tokio aux diverses batailles, — et sur l'ignorance de certains détails que nous indiquerons. Néanmoins, les programmes sont faits, et l'on serait mal venu d'en discuter les grandes lignes ; j'ajouterai, d'ailleurs, que l'évolution dans l'armement des bâtiments de guerre a été réalisée dans un sens qui, à mon avis, s'imposait depuis longtemps ; je ne m'inscrirai donc pas en faux contre des conclusions qui, pour être basées sur des faits inexacts, n'en sont pas moins conformes à la logique.

Malgré que ces programmes soient à l'heure actuelle hors de discussion, il n'en est pas moins utile de chercher à pénétrer la réalité des faits. En outre, en dehors des questions générales d'armement et de protection, il y a, dans la construction d'un bâtiment de guerre, une foule de détails importants. On ne saurait douter que l'expérience de la guerre Russo-Japonaise ne

permette, pour certains d'entre eux, de fixer des idées encore imprécises, et, pour d'autres, de vérifier si les faits sont d'accord avec les théories. A ce double titre, l'examen détaillé et la discussion des avaries reçues par les deux flottes nous paraissent devoir être une source fertile d'enseignements.

Les événements maritimes de la guerre Russo-Japonaise sont trop récents, et ont donné lieu à trop de récits et de polémiques, pour qu'il soit utile de les rappeler. Nous considérons donc comme connues toutes les manœuvres stratégiques et tactiques de la guerre, ainsi que les principaux incidents des combats. Nous essaierons de grouper les faits de même nature, sans nous préoccuper des circonstances tactiques ou stratégiques où ils se sont produits; en nous plaçant à l'unique point de vue de l'effet des armes modernes sur les diverses parties des bâtiments, nous présenterons, en quelque sorte, l'inventaire des avaries de combat.

Précisons d'abord quelques renseignements généraux.

Les distances de combat ont, sans doute, été en général élevées; mais elles ont été loin d'atteindre les chiffres que l'on a indiqués tout d'abord. Le 10 août, un premier coup fut tiré à 11 000^m, mais ne produisit aucun effet; quand la première phase du combat s'engagea, la distance des adversaires ne fut pas inférieure à 8 000^m; à la troisième reprise, le feu fut ouvert à 7 300^m: un projectile Russe de 305 atteignit le *Mikasa* à la distance de 7 000^m. Mais la plupart des coups graves furent portés aux Russes à la fin de l'engagement, après l'accident du blockhaus du *Cesarevitch*: à ce moment, le *Cesarevitch* et le *Revitzan* reçurent le feu de dix bâtiments Japonais à 3 500^m.

Quelques jours après, le 14 août, dans la lutte de l'amiral Kanimoura contre la division des croiseurs-cuirassés de Vladivostock, la division Japonaise ouvrit le feu à 11 000^m, et maintint ensuite ses distances à 8 000^m, puis à 6 000^m. A un moment donné, son feu avait réduit les Russes à merci; mais elle n'osa s'approcher, et l'ennemi s'échappa.

A Tsoushima, d'après le rapport de l'Amiral Togo, les Japonais ouvrirent le feu à 6 000^m, puis le combat s'établit à 3 000^m et 4 000^m; mais les adversaires se rapprochèrent assez pour que la principale escadre Japonaise pût à plusieurs reprises lancer des torpilles; 70 torpilles furent lancées, notamment 10 par l'*Asahi*. Des rapports constatent que le *Nisshin* a tiré entre 2 000^m et 6 000^m. Il y a loin de ces constatations aux premières légendes répandues, d'après lesquelles les Russes étaient accablés de projectiles, alors qu'ils entrevoyaient à peine les fumées de l'ennemi. En réalité, le duel d'artillerie, pendant une phase appréciable du combat, se livra entre 1 200^m et 2 000^m.

Pour les vitesses, on peut évaluer à deux nœuds la supériorité des Japonais sur les Russes, tant au 10 août qu'à Tsoushima; mais les Japonais ne paraissent pas avoir dépassé 15 nœuds.

II.

On peut dire que le sort de la guerre a été décidé par le désastre, à Tsoushima, de quatre des cuirassés Russes de construction récente, qui constituaient le noyau de l'escadre de la Baltique; ces bâtiments ont coulé ou chaviré, et le secret de leur désastre est englouti avec eux au fond du détroit de Corée. Il n'est pas impossible cependant, à l'aide de quelques renseignements, de constituer sur leur sort des hypothèses plausibles. Les avaries de détail constatées sur les bâtiments ayant survécu permettent de jeter une certaine lumière sur ce qui s'est passé à leur bord; il a donc paru convenable de présenter les avaries de détail que l'on connaît, avant de parler des bâtiments qui ont chaviré ou coulé à fond. Toutefois, avant d'entrer dans le vif de notre sujet, nous devons faire les plus expresses réserves. Comme on le verra, les avaries que nous avons relevées sont relativement peu nombreuses; plusieurs sont mal définies. Il est donc nécessaire de se défendre contre toute tendance de généralisation; certaines des conclusions que nous présenterons ne peuvent donc être considérées que comme des étapes dans la recherche de la vérité; nous formulerons des hypothèses, et nous poserons des questions.

Nous avons fait la nomenclature des avaries qui ont été, par diverses sources, portées à notre connaissance. Nous avons, comme on pouvait le prévoir, rencontré quelquefois — mais rarement — des renseignements contradictoires; souvent, les détails donnés sont peu clairs, ils se ressentent de l'incompétence du narrateur primitif ou du traducteur; nous les avons, dans ce cas, transcrits tels quels. Néanmoins, les faits relevés sont relativement précis.

Nous avons cru devoir insérer, dans le corps même de notre travail, cette nomenclature, que l'on trouvera quelque peu sèche, et que l'on préférerait peut-être voir rejetée à la fin comme annexe; mais il semble que les faits, dans leur simplicité, parlent d'eux-mêmes, et sont plus éloquents que tous les commentaires que l'on peut y ajouter.

Avaries des cuirasses de ceinture épaisses et minces.

Sur le *Pobieda*, à Port-Arthur, le 9 février, on compte 15 impacts dans la cuirasse, sans effet.

Gromoboï : les coups à la cuirasse n'ont donné lieu qu'à des infiltrations; le plus grave a été un coup à l'angle d'une plaque; il n'y avait pas de membrure sous le joint.

Cesarevitch, à Port-Arthur. — Un coup de 120 à l'extrême-avant à tribord. On a éprouvé une forte secousse dans le compartiment du tube lance-torpille

avant; le tour qui s'y trouvait a été renversé, les pieds ayant été cassés. On n'a trouvé aucune trace de fatigue dans la cuirasse, ni à l'extérieur, ni à l'intérieur; les boulons ont pris un peu de jeu sans donner d'eau.

Nisshin. — Un projectile de 305 a frappé la ceinture (épaisseur : 150^{mm}) juste au-dessus de la flottaison à bâbord, à environ 6^m en avant de la traverse, près d'une couture. Il a éclaté en pénétrant dans la plaque, et l'a traversée; la pointe a été retrouvée dans la soute à charbon, qui est remplie d'eau; mais il n'en résulte aucun inconvénient pour le navire. Cette plaque n'a aucune fêlure.

Asahi. — La ceinture (228^{mm}) est frappée par un projectile de 305, qui enlève seulement une petite quantité de métal.

Mikasa. — Le 10 août, deux gros projectiles ont traversé la ceinture de 178^{mm}.

Bayan. — A bâbord, à 8^m de l'avant, un projectile a atteint le bas d'une plaque de la virure supérieure du cuirassement. Celui-ci est formé de plaques de 57^{mm} sur platelages de 19^{mm}. La plaque de 57^{mm} fut brisée, laissant un trou de 1^m de largeur. La plaque située en dessous s'est détachée au choc, en arrachant les vis qui la fixaient au platelage; elle n'est pas tombée, et est restée inclinée vers l'extérieur, la partie haute s'étant écartée de 45^{cm}.

Sur l'*Asuma*, un obus de gros calibre est entré dans la casemate tribord arrière, sur le pont supérieur, a complètement mis en pièces le canon et son affût, et a détruit le cuirassement supérieur. Il a endommagé le pont supérieur, le grand mât et la cheminée arrière.

Sur le *Fudji*, un obus de 152 entre par une cabine sous la passerelle arrière bâbord, traverse le pont supérieur et vient éclater contre la cuirasse du dessous de la tourelle de 305. Il endommage les conduites d'eau.

Avaries des blockhaus.

Cesarevitch. — Un obus de 305, qui paraît avoir ricoché, explose dans la partie comprise entre la muraille et le chapeau. Le chef d'état-major, le commandant, un lieutenant de vaisseau, deux matelots blessés, un lieutenant de vaisseau et deux matelots tués. Tout est détruit à l'intérieur; la barre est bloquée, et le bâtiment cesse de gouverner. Le personnel non atteint par les éclats est étourdi par l'explosion, et à demi asphyxié par les gaz. Le blockhaus est rempli de fumée.

Le projectile a probablement éclaté en touchant le rebord de la toiture, qui porte une légère échancrure; la cuirasse est intacte; l'ogive de l'obus a traversé le blockhaus, et en est ressortie en démolissant un des supports de la toiture. On l'a retrouvée dans les bastingages de la passerelle.

Rossia. — Un projectile éclatant dans le blockhaus a blessé le commandant, et tué un officier et plusieurs matelots. Pour se préserver à l'avenir, on a diminué l'ouverture de la fenêtre horizontale à l'aide d'une tôle, et l'on a mis

à l'intérieur un matelassage en liège, pour empêcher les éclats de ricocher.

Osliaha. — *Kniaz-Souvarof.* — Au début du combat, un projectile de 305 atteint les blockhaus de ces deux bâtiments. On a attribué à l'un d'eux la mort de l'Amiral Felkersam; une autre version rapporte qu'il était mort depuis deux jours, de maladie.

Orel. — Un projectile de 152 a enfoncé en dedans le rebord du plafond; un deuxième a enlevé la plaque garnissant le can supérieur de la cuirasse, et produit dans le métal une éraflure profonde; il a dû tuer ou blesser une partie du personnel; des transmetteurs d'ordres étaient fixés sur un écran vertical distant de 25^m sur la cuirasse; ils n'ont pas été avariés.

Bayan. — Le tube transmetteur d'ordres (diamètre 0,60, épaisseur 76^{mm}) a été trouvé brisé entre le pont supérieur et le pont de la batterie.

Fudji. — Un obus de 305 a frappé le toit, emporté deux sections du rebord, qui se trouve au-dessus de l'ouverture pour la vue. L'obus n'a pas éclaté; il a ricoché vers le haut à travers les passerelles, a démoli la chambre des cartes; les éclats ont blessé grièvement l'officier torpilleur, qui se préparait à lancer une torpille.

Nisshin. — Un obus de 305 a frappé le toit du blockhaus, et s'est brisé sans causer d'avaries sérieuses.

Mikasa. — Un gros projectile a frappé le blockhaus, tuant cinq ou six personnes, et faisant voler en éclats une partie du cuirassement.

Avaries de tourelles.

Cesarevitch. — Un projectile frappe à côté et à l'extérieur du capot de la tour de 305 avant. La toiture est fortement emboutie. A l'intérieur, un bout de cornière arrachée a tué un homme, qui réparait les appareils électriques du pointage vertical. Le pointeur a été étourdi et contusionné. Les éclats ont criblé de trous le conduit du monte-charge situé à l'avant de la tourelle, et la façade de la cabine de l'amiral. Certains éclats ont traversé trois tôles.

Pour aérer la tourelle, où il faisait une chaleur intolérable, et où l'air était irrespirable, on a dû laisser ouverte la porte de la tour arrière. Les hommes allaient respirer l'air frais; l'un d'eux a été tué par un éclat, au moment où il passait la tête en dehors.

La tourelle de 152 bâbord a été coincée par un débris de pavois.

Pobieda. — Deux canons démontés dans la tourelle avant.

Peresviél. — Une tourelle démontée.

Osliaha. — La tourelle avant est atteinte par trois projectiles de gros calibre, dont un la coince; le troisième, coup d'embrasure, met tous les servants hors de combat (blessures ou asphyxie).

Orel. — Un projectile de 305 atteint le bas de la tourelle de 152 bâbord avant. C'est le seul qui ait avarié d'une façon sensible une partie du cuirassement. (On a constaté que ce cuirassement avait une épaisseur de 100^{mm}, et non celle

de 150 indiquée sur les documents officiels). L'explosion a enlevé le pont voisin au-dessous sur une surface de 4^m,50 sur 3^m; elle a avarié également le pont supérieur et la passerelle. Le projectile a atteint la partie inférieure de la plaque située à gauche de celle traversée par les canons, et près de la couture. Au point d'impact, le métal a été enlevé sur une épaisseur de 2^{cm}; la plaque a été enfoncée légèrement sur une longueur de 1^m. Le choc a produit à la partie supérieure de la couture un écartement de 3^{cm}, et, sur toute la longueur de l'autre couture de la plaque des embrasures, un écartement de 25^{mm}. Aucun dégât à l'intérieur de la tour; l'éclairage électrique continuait à fonctionner.

Un deuxième coup de 305 a cassé la volée de gauche de la tourelle de 305 avant sur une longueur de 2^m,30. Un fragment de cette volée, long de 70^{cm}, a été projeté jusque sur la passerelle, passant à tribord du blockhaus, enlevant la culasse d'une pièce et s'encastant enfin dans le kiosque de timonerie.

Borodino. — Un officier survivant raconte qu'un projectile atteignit la tourelle qu'il commandait. Le choc ou l'asphyxie fit tomber tout le monde sans connaissance; une fumée intense se répandit. L'officier sortit de la tourelle; autour de lui, les projectiles pleuvaient de toutes parts. Il rentra dans la tourelle; deux projectiles vinrent frapper celle-ci simultanément, mirent hors de service en les brisant les deux pièces de 305, et tuèrent ou asphyxièrent 18 officiers ou matelots.

Nicolas-I^{er}. — Une tourelle démontée.

Fudji. — Tourelle avant. — Un projectile de 305 a frappé la partie supérieure de la plaque d'embrasure de droite, et est entré dans la tourelle. Il a touché les anneaux de fixation du berceau, et, ricochant, est allé frapper le toit; il est retombé, a de nouveau ricoché vers le haut, et a fait explosion en frappant le sommet de la plaque du masque arrière. Toute cette plaque a été emportée; le refouloir du canon de droite a été avarié; deux charges qui se trouvaient à l'abri du masque ont pris feu; mais, les conduits hydrauliques ayant été coupés, l'incendie a été éteint automatiquement. Huit hommes ont été tués de ce côté de la tour; l'épontille centrale a été légèrement avariée; mais le canon de gauche a pu continuer le feu, et la tourelle ne s'est trouvée immobilisée en aucune façon.

Nisshin. — Trois des canons de 200 ont été détruits. Un obus de 150 ou de 200 tiré à 5000^m ou 6000^m a éclaté sur la façade de la tour avant, en évitant tout juste le canon, causant beaucoup de dommage au pont et à la superstructure. La tourelle est intacte; la cuirasse n'a aucune fêlure, le métal est enlevé sur une profondeur de 4^{cm}.

Au début du combat, un projectile atteint le canon de droite, et le brise net, à la jaquette; plus tard, un autre projectile atteint le canon de gauche et le brise également. La tourelle était hors de service du fait des canons, mais tous les autres organes étaient intacts. Nombreuses avaries alentour. L'amiral a été blessé sur la passerelle.

Sur la tour arrière, le canon gauche a été atteint et brisé; le projectile a fait beaucoup de dommages au pont supérieur et dans le voisinage, mais la tourelle a continué à fonctionner.

(On a lieu de se demander si ces canons ont été réellement brisés par les projectiles Russes; on serait assez porté à croire qu'ils ont éclaté.)

Chitosé. — Un obus de 305 a frappé le canon de droite de la tour arrière sur la volée et par sa pointe; la frette externe et le tube ont été ouverts, le canon courbé vers le haut. Aucune avarie dans la tourelle, bien que le pont voisin, ainsi que le pont principal dans les appartements du commandant, aient été fortement avariés.

Avaries de pont.

A Port-Arthur, les obus de 28, lancés de la colline de 203^m, et tombant à une incidence de 60°, ont fait de nombreuses avaries.

46 coups ont été relevés sur le *Peresviet*, 8 sur le *Revitzan*, 15 sur le *Pobieda*, 26 sur le *Pallada*, 41 sur le *Bayan*, 1 sur le *Poltava*.

Sur le *Poltava*, la soute à munitions de 305 arrière paraît avoir sauté à la suite de l'incendie provoqué par un projectile.

Sur le *Bayan*, 3 obus ont traversé le pont cuirassé.

La machine bâbord du *Bayan* a été mise hors de service par l'un d'eux; le fond et la paroi du cylindre tribord milieu ont été endommagés; les débris de l'obus ont été retrouvés dans le bâti sous la manivelle.

Sur le *Peresviet*, 13 brèches ont été ouvertes dans le pont supérieur, 11 dans la batterie et 4 seulement à travers le pont cuirassé; notamment, à l'avant du mât de misaine, le pont fut traversé, et la tôle de 25^{mm} sous l'emplacement du mât fut déchirée; un peu à tribord, sur l'avant, la partie inclinée du pont fut traversée au-dessus d'un trou à charbon.

Un projectile, après avoir traversé les trois ponts supérieurs à 10^m de l'avant, fit un trou dans la muraille au-dessus de la cuirasse, sans qu'on puisse dire s'il a traversé la muraille ou s'il a été dévié vers l'intérieur.

Un projectile ayant traversé deux ponts fit explosion contre la muraille arrière de la casemate inférieure bâbord (33^{mm}), créant une ouverture de 1^m, sans endommager cependant le pont cuirassé.

Avaries de carène au-dessous de la flottaison.

Azama. — Trois déchirures au-dessous de la ligne de la flottaison, réparées rapidement par les moyens du bord.

Novik (le 20 août). — Un coup au-dessous de la flottaison.

Nicolas-I^{er}. — Quatre déchirures au-dessous de la flottaison.

Svietlana. — Large brèche à l'avant de la flottaison.

Amural-Ouchakof. — Deux coups au-dessous de la flottaison.

Revitzan (9 août). — Un coup sous la flottaison au-dessous de la cuirasse, à l'extrême avant, le navire étant droit. L'explosion du projectile a fait une brèche de 2^m sur 3^m.

A Port-Arthur, pendant le bombardement du haut de la colline de 203^m, de fortes brèches ont été produites (de 3^m sur 2^m, de 4^m sur 3^m, et de 3^m sur 3^m) par des obus de 28 touchant l'eau, déviés vers la coque et faisant effet de torpilles.

Cesarevitch (10 août). — Un coup au-dessous de la cuirasse, entre les couples 17 et 18 avant. Le projectile a éclaté au contact, ou plutôt sous l'eau sans toucher, faisant effet de torpille. Le couvre-joint du revêtement situé dans la maille atteinte a été en partie détaché, et l'eau a pénétré par les trous de rivets et par la couture entrebâillée de quelques millimètres; cinq compartiments ont été remplis, faisant 150^t d'eau.

Kasagi (à Tsoushima). — Un coup à bâbord, au-dessous de la flottaison, dans une soute à charbon; le bâtiment a dû quitter le champ de bataille, et venir se mettre à l'abri dans une eau calme pour se réparer; il ne put pas prendre part à nouveau aux opérations.

Naniva. — Un coup à la flottaison; le bâtiment dut se retirer momentanément en eau calme, mais se répara rapidement, et reprit son poste.

Diana. — Un projectile, se déplaçant de bas en haut par rapport au bâtiment supposé droit, est entré sans éclater, en déchirant le double bordé en bois et la tôle; plusieurs compartiments sont envahis, les membrures sont tordues. Trois compartiments du cofferdam sont remplis d'eau. La tôle fermant la partie supérieure du cofferdam est déchirée, et laisse passer l'eau aux coups de roulis. Le projectile avait ricoché, ou avait frappé le bâtiment dans un coup de roulis.

Almaz. — A son arrivée à Vladivostock, on constata 11 coups au-dessous de la flottaison.

Les cuirassés de Port-Arthur ont été avariés par les obus Japonais de 280 lancés de la colline dite de 203^m. Ils tombaient sous un grand angle; certains d'entre eux ont atteint sous la cuirasse des navires le bordé extérieur, et ont éclaté sous l'eau, en faisant torpille.

Askold. — Trois obus ont frappé sous la flottaison. Les cofferdams ont bien résisté. Un obus frappant à la flottaison, et éclatant sans doute, a fait un trou de 1^m,50 de diamètre; la cloison extérieure a résisté, mais le compartiment intéressé, qui était un magasin de la machine, a été envahi. Néanmoins, le bâtiment faisait assez d'eau par des coutures pour qu'on ait dû diminuer de vitesse.

Oleg. — Deux trous au-dessous de la flottaison.

Rurik. — Un coup de gros projectile au-dessous de la flottaison.

Gromobœ. — Six projectiles au-dessous de la flottaison.

Rossia. — Onze projectiles au-dessous de la flottaison.

Varyag. — Un obus traverse la flottaison bâbord et la soute à charbon,

sans éclater; l'eau envahit la chaufferie correspondante, et l'on aveugle la voie d'eau.

Oural. — Un 305 pénètre dans la chambre des machines, et éclate en défonçant les ponts, et provoquant la chute des mâts et des cheminées; le bateau coule immédiatement.

Avaries des superstructures.

Varyag. — Un obus éclate dans la soute à farine, et allume un incendie, qu'on ne peut éteindre.

Un obus frappe la passerelle supérieure, tuant le télémétriste et ses aides.

Un obus met le feu à un paquet de cartouches de 152.

Un obus désempare la pièce de 152 tribord.

Un obus de 305 éclate dans les appartements du commandant, et y met le feu.

Un obus éclate près du grand mât, avarie une cheminée, désempare deux pièces de 152, une de 75 et deux de 47. Les superstructures étaient entièrement démolies.

Cesarevitch. — L'intérieur est presque indemne : un seul obus fit explosion dans l'avant carré, et détruisit quelques cloisons. Huit coups dans les superstructures proprement dites n'ont fait aucun dégât important; tout se borne à des meubles démolis, et à des cloisons ébranlées. Les deux postes de télémétrie ont été détruits, l'un situé sur l'avant du poste de timonerie, l'autre sur la passerelle arrière, à l'arrière du kiosque de la majorité. La tour de 152 bâbord arrière a été immobilisée par les débris d'un pavois déchiré.

Askold. — Un obus de 305 tue l'officier télémétriste sur la passerelle tribord, traverse sans éclater le spardeck et détone sur la cheminée avant. Le poste de télégraphie optique, l'échelle tribord de la passerelle sont gravement endommagés. La culotte de la cheminée est déchirée et bossuée; le conduit de fumée de la chaudière correspondante est crevé sur une grande étendue.

Un projectile de gros calibre traverse les œuvres mortes à 1^m,50 au-dessus de la flottaison, et met le feu à un parc de munitions de 75.

L'*Askold* a reçu six obus de 200 et deux de 152, sans grands dégâts. Les effets des projectiles de 200 et de 152 sont sensiblement les mêmes.

Sebastopol. — Après le 10 août, au retour à Port-Arthur, 27 trous dans la coque.

Revitzan. — 17 trous dans la coque, voie d'eau importante.

Pobieda. — 17 trous, dont 6 sous la flottaison.

Pallada. — 27 trous, trois pieds d'eau dans la cale.

Peresviet. — 14 trous, grandes voies d'eau, bande considérable.

Sissoï-Veliky. — 12 trous occasionnés par des projectiles de gros calibre.

Rossia et Gromoboï. — Nombreuses avaries dans les superstructures, mais aucun dégât important.

Un projectile a éclaté dans un casier à sacs; les fragments sont restés en majeure partie dans les sacs.

Sur le *Rossia*, un rideau constitué par des matelas fixés à des filets Bullivant entourait le cabestan; aucun éclat n'a traversé.

Sur le *Gromoboï*, un monte-charges entouré de chaînes a reçu un projectile de 152; les chaînes ont été cassées, mais le conduit est resté intact, et le monte-charges a continué à fonctionner.

Orel. — On a relevé les traces de 33 projectiles, dont 27 d'artillerie moyenne et légère (surtout 150 et 200), 3 de 305 et 3 douteux (305 ou 200). Ces projectiles ont produit de très grands trous dans les œuvres mortes : notamment l'un d'eux a fait une ouverture de 3^m,50 sur 2^m, et démoli le pont et ses épontilles sur une longueur de 2 mètres.

Un projectile (de 150 ou de 200) a produit une brèche de 1^m,50 sur 1^m dans un compartiment plein de charbon, qu'il a projeté en tous sens sans provoquer d'incendie, et sans faire de dommage.

Des coups d'embrasure ont atteint trois canons de 75.

Toutes les embarcations sont démolies; tous les projecteurs brisés.

Aucune avarie dans le cuirassement.

Kamtchatka. — Un obus frappe la passerelle; le commandant et presque tous ceux qui l'entouraient sont précipités à la mer.

Fudji. — Trois coups de 305, deux de 150 et quatre de 75. Aucun dégât important.

Nisshin. — Quinze coups ont atteint le bâtiment. Il y avait à bord trois embarcations; aucune n'a été avariée, ni leurs supports ni les treuils. Il y a eu cependant quatre-vingt-cinq tués ou blessés.

Asahi. — Un obus de 150^{mm} ou 200^{mm} a traversé la coque à tribord devant, sans faire aucun mal.

Azama. — Quatre obus de 305^{mm} dans les parties non protégées n'ont produit que peu de dégâts.

Idzumi. — Douze trous de petits projectiles, neuf sur la coque de bâbord avant, deux sur la coque tribord avant. Un obus de 250^{mm} n'éclatant pas a atteint le haut de la coque bâbord arrière, faisant sauter quelques rivures, sans causer de dommages.

Hatsusé. — Le 9 février, à Port-Arthur, le poste de l'amiral, sur la passerelle, a été détruit.

Mikasa. — Le 10 août, un projectile de 305^{mm} détruit la passerelle, un autre la cabine de l'amiral.

Tokiva. — La coque est traversée par un obus de 152^{mm} à environ 1^m,30 au-dessus de la flottaison, sans avaries importantes à l'intérieur.

Si l'on tient à constater brutalement les faits, on reconnaît :

Qu'aucun cuirassement n'a été sérieusement entamé;

Que des projectiles très nombreux ayant frappé sous la flottaison dans des parties non cuirassées, n'ont fait aucun dommage grave;

Que les superstructures ont été très endommagées, il est vrai, d'après les premières apparences, mais que les dégâts n'avaient pas grande importance.

De ces constatations, on serait tenté de conclure, non seulement que les cuirasses étaient trop épaisses, mais qu'elles étaient inutiles, et qu'une protection assurée par un compartimentage serré suffirait; en un mot, qu'on pourrait se contenter, comme système de protection générale, non pas même de la protection des croiseurs-cuirassés, mais plutôt de celle des croiseurs type *Sfax*, ou des bâtiments Italiens type *Italia* ou *Lepanto*.

Cherchons à analyser de plus près les faits.

Si l'on considère les coups qui ont atteint les cuirassements, qu'il s'agisse des ceintures, des tourelles et des blockhaus, une première remarque est à faire : aucune cuirasse Russe, blindage de flanc, casemates, tourelles ou blockhaus n'a été démolie ni traversée à coups de canon; tout se borne à des éraflures; les projectiles éclatent, et ce sont leurs débris qui causent les dégâts. Au contraire, on relève quelques cas de perforation du côté Japonais. Cependant, le tir des Russes était, au début du combat à Tsoushima, quatre ou cinq fois plus lent que le tir des Japonais, et fut gêné par la fumée des incendies; un tiers de leurs projectiles étaient en fonte. Non seulement on ne relève à l'actif des projectiles de 305^{mm} Japonais aucun fait de démolition (sauf peut-être le coup de l'*Oural*) comparable à ceux qu'on est en droit d'attendre de projectiles aussi puissants, mais on ne constate pas de différences sensibles entre les effets des 305^{mm} et des 152^{mm}.

Sans doute, on doit s'attendre à constater au combat des résultats de tir très différents de ceux relevés sur le polygone. Au polygone, les cuirasses sont attaquées normalement, ou sous de faibles angles; au combat, il en est tout autrement : sur cent projectiles lancés, une très faible fraction arrive au but, et, sur 100 qui arrivent au but, sept à huit au maximum se présentent avec une vitesse suffisante et sous l'incidence favorable à la perforation. Si la cible est plane comme un flanc de navire, les chances pour le projectile de se présenter sous une incidence favorable sont plus élevées que si la cible est courbe, comme une tourelle ou un blockhaus; sur ces derniers obstacles, le coup de perforation sera tout à fait exceptionnel ⁽¹⁾.

Néanmoins, l'absence d'avaries de cuirasse est difficile à expliquer : un projectile de rupture pesant 340^{kg}, et capable de perforer à 4000^m une épaisseur de 456^{mm} d'acier harwey, devrait défoncer, sous une incidence quelconque, des plaques de 100^{mm} ou de 150^{mm}. Si aucun cas ni de perforation, ni de défoncement n'a été observé, il faut ou déclarer la faillite de l'artillerie, ou plutôt se demander si le canon et le projectile Japonais étaient tels que nous nous le figurons.

(1) A Santiago les Américains ont relevé une efficacité de tir de 2,2 pour 100.

Si l'on se rappelle que, dans la guerre Sino-Japonaise, il fut constaté que les Japonais n'ont pas fait usage de projectiles de rupture, on est en droit de penser qu'ils sont restés fidèles à cette pratique, et qu'ils ont employé à peu près exclusivement le projectile à explosifs.

L'immunité des cuirasses épaisses se trouve ainsi expliquée. D'autre part, ces projectiles explosifs étaient de qualité médiocre. A Tchemulpo et au 10 août, il fut constaté que les projectiles explosaient au moindre contact ; ceux qui touchaient l'eau explosaient en avant de la cible, et projetaient sur celle-ci des éclats innombrables, d'ailleurs très dangereux pour le personnel. Le 10 août, les projectiles éclataient sur les obstacles les plus minces à l'extérieur des bâtiments : les superstructures du *Cesarevitch* étaient à peine atteintes. Entre le 10 août et Tsoushima, le retard à l'éclatement fut augmenté ; les projectiles, ou du moins une partie d'entre eux, éclatèrent à l'intérieur ; on le constata sur l'*Orel* après sa reddition.

Néanmoins, si l'on compare les avaries constatées à celles que, d'après nos expériences de tir, nous serions en droit d'attendre de projectiles analogues, on est conduit à reconnaître une réelle inefficacité. On ne rencontre aucun de ces défoncements généraux, qu'un projectile de 305^{mm} explosif doit produire sur les murailles légèrement cuirassées, ou sur les ponts.

De toute cette discussion, nous sommes donc amenés à conclure, au moins à titre d'hypothèse, qu'il n'est pas impossible de vérifier :

1° Que les Japonais n'ont pas employé, du moins en général, de projectiles de rupture (ou de semi-rupture) ;

2° Que leurs projectiles explosifs étaient médiocres à la fois comme amorçage et comme puissance de destruction. Les projectiles, en éclatant sur les tôles, ouvrent, il est vrai, de larges brèches, mais leur action est très limitée. Non seulement les cloisons en tôle mince, mais de simples rideaux suffisent pour arrêter cette action. Après la bataille du 14 août, les Russes, instruits par les résultats du tir sur le *Rossia* et le *Gromoboi*, se sont préoccupés de se préserver des éclats ; ils ont installé des matelas de liège à l'intérieur des blockhaus et des tourelles, ont formé des traverses à l'aide de rideaux en filins d'acier recouverts de cordages de chanvre, ou de matelas-sages constitués par des hamacs ou des sacs fixés sur des filets Bullivant. Ils avaient constaté l'efficacité de ces protections.

Autant qu'on en peut juger par les quelques cas relevés, les projectiles de rupture Russes étaient plus efficaces contre les blindages que les projectiles Japonais ; le retard à l'éclatement était plus grand, ainsi que l'ont fait constater le coup du *Nisshin* et le coup de la tourelle avant du *Fudji*. Le coup sous la flottaison du *Kasagi* semble avoir été beaucoup plus grave qu'aucun des coups sous la flottaison reçus par les Russes.

D'autre part, beaucoup de projectiles Russes n'ont pas éclaté, et ont traversé les superstructures, sans faire d'autres dégâts que des trous de petit

diamètre. On a constaté qu'un tiers au moins de ces projectiles Russes n'ont pas explosé.

Les projectiles Russes renfermaient une moindre quantité d'explosif que les Japonais, et cet explosif, la pyroxyline, avait une force d'expansion moindre que la lyddite des Japonais. Le pourcentage des matières explosives était, chez les deux adversaires :

	Projectiles de 305 ^{mm} .		Projectiles de 152 ^{mm} .	
	De rupture.	Explosifs.	De rupture.	Explosifs.
Russes	1	2	2	3,1
Japonais	5	9,5	5,5	9,5

Si les projectiles Japonais étaient médiocres, n'en était-il pas de même de leurs canons ? Certains faits donnent quelque vraisemblance à cette hypothèse. On croit savoir, par exemple, que, le 10 août, sur seize canons de 305^{mm} en fil d'acier, de fabrication Anglaise, sept ont été mis hors de service. A Tsoushima, trois des quatre canons des tourelles du *Nisshin* ⁽¹⁾ sont brisés net par des projectiles Russes ; la cassure présente l'aspect de onte plutôt que d'acier à canon de bonne qualité. Les trois grosses pièces du *Kasuga* sont mises hors de service par leur tir propre. On a relevé (à Port-Arthur, il est vrai, et à la fin du siège) le cas d'un projectile de 280^{mm} frappant par le culot, ce qui prouve que sa vitesse de rotation n'était plus suffisante pour le maintenir en direction sur sa trajectoire, et laisse supposer que les rayures du canon n'existaient plus. De là à conclure qu'une partie de l'artillerie Japonaise était médiocre ou en mauvais état, que les Japonais avaient peut-être réduit les charges de poudre par précaution, et par suite que la vitesse des projectiles était diminuée, il n'y a qu'un pas à franchir.

On répondra peut-être que cette observation est réfutée par la justesse même du tir à longue portée ; mais ce tir à longue portée a pu être exécuté par des pièces neuves, désignées particulièrement. D'autre part, la consommation des munitions a été considérable du côté des Japonais, tandis qu'en fait le nombre de coups reçus a été faible : l'*Orel*, sur lequel on a pu faire le dénombrement précis des avaries, a reçu, après un combat de plusieurs heures, trente-trois projectiles, dont trois seulement de 305^{mm}. On a calculé que près de sept cents coups de gros calibre ont été tirés sur le *Cesarevitch*, et que dix seulement l'ont atteint ; ce serait une proportion de 1,4 pour 100.

On est donc assez fondé à conclure que les projectiles Japonais, déjà de médiocre qualité, étaient lancés par des pièces en partie usées, et avec des vitesses initiales réduites. On explique ainsi aisément le peu de gravité des avaries que nous avons signalées.

C'est ici l'occasion de constater à quel point on doit, dans la discussion des

(1) Le *Nisshin* et le *Kasuga* sont les deux croiseurs-cuirassés construits à Sestri-Ponente, et achetés par le Japon au moment de la guerre.

résultats d'une bataille, se mettre en garde contre l'erreur de considérer comme comparables les artilleries des diverses Marines, et de juger par les effets de l'une d'entre elles de ce que pourraient être les effets d'une autre.

D'après les annuaires, l'artillerie Japonaise était en tous points comparable, comme poids de projectiles et vitesse initiale, à notre artillerie; mais, sans doute, la qualité du métal des pièces laissait à désirer, et les canons présentaient des traces d'usure. On sait à quel point les poudres actuelles détériorent l'âme des canons, en créant des affouillements, et en rongant les rainures (1).

On a sans doute remarqué, dans l'énumération des avaries signalées plus haut, le rôle sinon inattendu, du moins nouveau, qu'ont joué les projectiles Japonais en qualité d'asphyxiants. Il est établi que, dans les tourelles et les blockhaus, le personnel a été non seulement incommodé par les gaz, mais réellement asphyxié, au point de perdre connaissance pendant 6 ou 10 heures. Sur le *Sissoi-Veliky*, les deux médecins sont morts asphyxiés.

Il y a là pour les bâtiments de combat un nouveau danger, contre lequel il devient nécessaire de se prémunir. Non seulement il faudra chercher à protéger des gaz asphyxiants le personnel des hauts, mais également celui qui est à l'abri des ponts cuirassés, et qui peut se trouver exposé à respirer l'air méphitique aspiré dans les batteries par les ventilateurs. Nous aurons l'occasion de revenir sur cette question.

Un point qui attire nécessairement l'attention est le peu de dégâts causé, en général, par les coups qui atteignent sous la flottaison. La seule avarie grave, comme nous l'avons dit, est celle du *Kasagi*, qui fut mis hors de combat pour quelques jours.

Il est à présumer que beaucoup de projectiles, qui atteignirent les carènes sous la flottaison, provenaient de ricochets, ou avaient traversé l'eau, et avaient perdu leur vitesse. D'autre part, l'amorçage laissait à désirer, comme nous l'avons dit, et tous éclataient soit dans le premier compartiment, soit même au contact du bordé; si bien que la brèche était aisément localisée par le compartimentage.

Dans bien des cas, notamment au moment du bombardement de Port-Arthur, et dans le cas du *Cesarevitch*, les projectiles ont dû éclater sous l'eau, et faire l'effet de petites torpilles, non au contact; on s'explique qu'ils n'aient produit que peu d'effet.

D'autre part, nous avons vu que les projectiles explosifs ont toujours produit des effets très limités. La moindre cloison, le moindre rideau suffit à en limiter les effets. Le peu de dégâts causés par les projectiles atteignant sous

(1) Depuis la paix, les Japonais se sont préoccupés de remplacer toute l'artillerie de leurs bâtiments de guerre.

L'eau nous semble donc s'expliquer par la mauvaise qualité des projectiles. Néanmoins le fait seul qu'un nombre relativement considérable de projectiles ont atteint les carènes sous l'eau est à retenir; il montre combien est spécieux l'argument si souvent mis en avant depuis quelques mois, que l'on n'atteindra jamais la flottaison, et que les sacrifices faits pour protéger cette flottaison sont parfaitement inutiles. On s'expliquerait difficilement que le tir pût atteindre la carène au-dessous de la flottaison ainsi que les superstructures, et que seule la partie abritée par la ceinture resterait indemne. Il y a là encore une légende, inventée pour les besoins d'une théorie, et contre laquelle il faut protester.

Ces nombreuses avaries montrent qu'il faut au contraire se préoccuper des coups à recevoir sous la flottaison, et qui, avec des projectiles de semi-rupture, bien amorçés, présenteront un danger considérable. Faudra-t-il prolonger les cuirassements à la partie inférieure, ou pourra-t-on se contenter d'un cloisonnement intérieur bien fait? Les deux moyens seront sans doute à employer à la fois.

La médiocre qualité des projectiles Japonais est encore mise en lumière par l'examen des avaries des superstructures. Sur le *Cesarevitch*, tous les dégâts se bornent à des meubles démolis, et à des cloisons déplacées. Le commandant Klado constate que le *Rossia* et le *Gromoboï*, à leur retour à Vladivostock, après 5 heures de combat, présentaient « des avaries très pittoresques, et dont le caractère décoratif, si l'on peut s'exprimer ainsi, devait faire une grande impression sur les personnes incompetentes, mais qui, pour un marin, n'avaient que fort peu d'importance. »

Tout le monde a vu les photographies de l'*Orel*; tout est brisé à bord, il ne reste plus ni embarcations, ni projecteurs; mais, en réalité, aucune avarie n'atteint un organe essentiel de navigation et de combat.

Revenons à l'inventaire des avaries, en laissant à part les grands cuirassés Russes.

Incendies.

Gromoboï. — Quelques incendies peu sérieux que l'on peut éteindre. Le pont supérieur était en bois, les aménagements en bois et tôles, meubles en bois.

Un dépôt de gargousses a été incendié par un projectile : la chaleur dégagée a été telle que l'entourage en zinc des hublots a fondu; des matelots ont été brûlés vifs. Le même accident s'est produit sur le *Rossia*.

Cesarevitch. — Le pont supérieur, bordé en bois, sur platelage en tôle, a été atteint plusieurs fois, et n'a pas brûlé. Quelques meubles ont pris feu dans le carré des officiers, par suite de l'explosion d'un projectile ou de la rupture

d'un conducteur électrique ; on a jeté les meubles enflammés à l'eau, et l'on a éteint aisément les commencements d'incendie.

Peresviet. — A beaucoup souffert de l'incendie à Port-Arthur. Le bois du pont supérieur, fixé sur un platelage, a été détruit sur toute la largeur du navire et sur une longueur de 20^m à hauteur du mât avant et de 15^m à l'arrière.

Mikasa. — Un incendie considérable s'est déclaré sur le pont, mais a pu être éteint rapidement.

Varyag. — Plusieurs incendies se déclarent, dont on peut se rendre maître.

On voit, d'après ces quelques faits, que, d'une façon générale, il ne s'est pas produit, malgré l'emploi des projectiles à explosifs, de violents incendies, dont on n'a pas pu se rendre maître. Les ponts en bois sur platelage brûlent difficilement, et si, sur le *Peresviet*, le pont a été brûlé sur une longueur assez considérable, c'est sans doute que, le bâtiment étant au mouillage et à peu près abandonné de son équipage, on n'a pas disposé de moyens rapides d'extinction. Il n'est même pas nécessaire, lorsque les aménagements sont métalliques, que les meubles soient également en métal ; l'incendie se restreint de lui-même assez aisément. Ces observations sont nécessaires avant d'aborder l'étude de la partie capitale de la bataille de Tsoushima.

III.

Le sort de la bataille fut décidé par la mise hors de combat rapide et la destruction de quatre cuirassés, les meilleurs et les plus modernes de la flotte Russe, le *Borodino*, le *Kniaz-Souvarof*, l'*Imperator-Alexandre-III* et l'*Osliaïa*. Nous allons chercher à nous rendre compte des causes de ce désastre.

Les trois premiers sont du même type, ainsi que l'*Orel*, et reproduisent à peu près les dispositions générales du *Cesarevitch*. Ils avaient une ceinture cuirassée complète, la virure inférieure de 250^{mm} d'épaisseur, la virure supérieure de 152^{mm}. Dans les lignes d'eau du plan, le can supérieur de la virure inférieure était à 54^{cm} au-dessus de la flottaison, le can supérieur de la virure supérieure était à 2^m, 29. Le réduit central cuirassé à 152^{mm} occupe le tiers de la longueur, et protège la batterie de canons de 100^{mm}. Deux ponts cuirassés, l'un de 62^{mm}, 5, horizontal, au can supérieur de la ceinture, l'autre composé de deux tôles de 19^{mm}, 5, à 30^{cm} au-dessus de la flottaison, se raccordant en abord avec la cloison verticale placée en dedans du revêtement vertical de la double coque. Sur le *Kniaz-Souvarof*, le pont cuirassé se prolonge jusqu'en abord, et l'espace entre les deux ponts est rempli de charbon.

Sur l'*Osliaïa*, la ceinture n'était que partielle, s'étendant sur une lon-

gueur de 96^m, sur 132^m de longueur totale. Composée de deux virures, l'une de 228^{mm}, l'autre de 152^{mm}, elle avait une hauteur totale de 2^m,36, dont 0^m,91 au-dessus de l'eau. La partie centrale du bâtiment, sur une longueur de 50^m, est occupée par un réduit cuirassé à 101^{mm} sur matelas, et protégeant la batterie de 100; sa hauteur totale au-dessus de l'eau est de 3^m, 20. Le pont cuirassé, en dos d'âne, a une épaisseur de 38^{mm} sur platelage de 13^{mm}; sa forme est celle des ponts de nos croiseurs anciens, type *Forbin*. Sa hauteur, dans l'axe, est celle du can supérieur de la cuirasse, soit 91^{cm}, et il s'abaisse en abord au can inférieur. On sait à quel point cette disposition rend le bâtiment chavirable à la moindre voie d'eau, si des barrages et des cofferdams n'ont pas été disposés avec soin pour limiter l'invasion de l'eau sur le pont.

D'après ces quelques données, on voit que, dans les lignes d'eau du plan, les cuirassés type *Borodino*, avec leur double ceinture complète, et leurs deux ponts cuirassés, étaient dans des conditions satisfaisantes pour la stabilité; il était loin d'en être de même pour l'*Osliaha*, que l'on pouvait ranger d'avance dans la classe déjà célèbre des cuirassés chavirables; encore devons-nous supposer que l'intervalle des ponts cuirassés du *Borodino* était suffisamment cloisonné pour limiter les effets de l'invasion de l'eau.

Malheureusement, les bâtiments Russes, quand ils se présentèrent à Tsoushima, étaient loin d'être dans les lignes d'eau du plan. Dès le départ de l'escadre de la Baltique, l'Amiral Rodjestvensky se plaignait que les cuirassés eussent un déplacement de 35 pour 100 supérieur à celui prévu, et qu'avec un approvisionnement normal de charbon de 1750^t, le tirant d'eau dépassât de 0^m,50 les prévisions : le can supérieur de la cuirasse de 250 était donc de 4^m au-dessus de l'eau. Comme, en fait, l'approvisionnement de charbon fut de 2500^t, la cuirasse épaisse était entièrement noyée. En réalité ces cuirassés n'étaient plus défendus que par une cuirasse mince de 150^{mm} s'élevant à 1^m,70 au-dessus de l'eau; ils étaient transformés en croiseurs cuirassés, mais la hauteur trop faible de la ceinture les mettait même en infériorité sur nos bâtiments type *Renan*.

Les quelques chiffres que nous venons de citer permettent de se faire une idée de la diminution de stabilité que ces bâtiments devaient avoir subie : il ne faut pas oublier que les surcharges qui se produisent pendant la construction ont pour origine l'addition de poids dans les hauts, et ont pour effet de relever le centre de gravité général; car les fonds sont encombrés par les machines, les chaudières et les soutes, et l'on ne trouve de place disponible que dans les ponts supérieurs. Gardons-nous de jeter la pierre aux ingénieurs Russes qui ont construit ces bâtiments; l'histoire du *Magenta* et de ses similaires est encore présente à la mémoire de nous tous, et nous savons combien il a fallu d'efforts, de précision dans les calculs et de soin dans les constructions, pour éviter de retomber dans ces erreurs. L'aventure du *Victoria-and-Albert*, qui a failli chavirer au bassin, et dont tous les hauts ont dû être

reconstruits, montre que les plus habiles constructeurs de l'Amirauté Anglaise ont commis les mêmes fautes que nous. Les ingénieurs Russes ont été plus malheureux, parce que leurs bâtiments ont été soumis à l'épreuve du feu, mais ils n'ont pas été plus coupables.

Cette situation, déjà si dangereuse, fut singulièrement aggravée par la nécessité d'embarquer une quantité anormale de charbon en surcharge; tous les hauts des navires en furent bondés; il y en avait jusque dans les logements des officiers et de l'amiral; chaque fois que l'on avait consommé 400^t de charbon, on refaisait le plein; il est à présumer en outre que dans le cours de la navigation l'on employait le charbon des soutes alimentaires; dans ces conditions, le centre de gravité du bâtiment devait nécessairement s'élever, et diminuer à nouveau la stabilité initiale, déjà faible. Nous avons cherché à chiffrer cette stabilité en appliquant les données ci-dessus au *Cesarevitch*, d'un déplacement très voisin de celui du *Borodino* (12900^t au lieu 13500^t).

En prenant comme point de départ le *Cesarevitch* dans ses lignes d'eau normales, avec chargement complet, tel qu'il était le jour où il a quitté les chantiers de la Société des Forges et Chantiers, à La Seyne, il est facile de calculer la surcharge qui avait pour effet de l'enfoncer de 0^m,50. En supposant que le centre de gravité de la surcharge soit placé à mi-hauteur entre le pont cuirassé inférieur et le pont le plus élevé, soit à 11^m,30 au-dessus de la quille, on reproduira le cas du *Borodino* en armement normal; il sera possible de passer de là au cas où se trouvait le bâtiment à Tsoushima.

	Déplacement.	ρ .	a .	$\rho - a$.
<i>Cesarevitch</i>	13 165 ^{ix}	9,912 ^m	8,680 ^m	1,232 ^m
<i>Borodino</i> , calculé en charge normale.....	14 200	9,807	8,870	0,937
Avec 750 ^{ix} de charbon dans les hauts.....	14 950	9,731	9,041	0,690
Même cas que précédemment, après consommation de 400 ^{ix} de charbon de la cale.....	14 550	9,770	9,180	0,590

Ces chiffres sont des minima, car, à Tsoushima, la consommation de charbon avait sans doute diminué la surcharge; mais sans avoir de valeur absolue, ils montrent que, vraisemblablement, les cuirassés Russes avaient à Tsoushima une stabilité très notablement inférieure à celle du *Cesarevitch*; ajoutons d'ailleurs que, cette stabilité était suffisante pour la sécurité de la navigation; mais en cas d'invasion de l'eau, amenant à la fois une réduction du rayon métacentrique et une bande initiale, le bâtiment se trouvait dans des conditions très inférieures à celles du *Cesarevitch*.

A ces causes sérieuses d'infériorité, il faut ajouter qu'au dire des officiers Russes même, les cuirassés en question étaient d'une construction défectueuse: les sabords étaient placés trop bas, les portes étanches ne fermaient pas. Ce n'est pas s'avancer beaucoup que de supposer que les cloisons étanches n'avaient d'étanche que le nom; ceux d'entre nous qui ont eu, il y a quelques années, à appliquer les prescriptions réglementaires ayant pour

but de vérifier expérimentalement l'étanchéité des cloisons dites étanches, savent combien il a fallu, dès cette époque, renforcer les attaches prévues pour empêcher les cloisons et le double fond d'éclater sous la charge d'eau. Les chantiers Russes ont-ils apporté tous leurs soins à assurer la tenue du cloisonnement ? Des doutes sont permis à cet égard. Dans une interview, l'Amiral Rodjestvensky a cru devoir se plaindre de la mauvaise qualité des cuirasses ; les quatre bâtiments qui ont coulé ou chaviré gardent le secret de leur désastre au fond de la mer du Japon, et l'on ignorera toujours si leurs cuirasses ont été perforées. Mais il est possible qu'elles aient été mal fixées à la coque ; l'amiral a constaté lui-même que, sous le choc répété des projectiles, les assemblages sautaient, et l'eau pénétrait par les trous de rivets et les coutures. Sur le *Gromoboi*, un projectile a frappé la cuirasse dans le voisinage d'une couture, et a ouvert une brèche ; on a constaté que, contrairement aux bonnes règles, les joints de la cuirasse ne tombaient pas sur une membrure. Cette constatation de détail laisse craindre que les chantiers Russes négligent certaines précautions importantes pour la bonne tenue des cuirasses.

Enfin, il faut ajouter que l'on a constaté sur l'*Orel*, après sa reddition, que les tourelles de 152^{mm} avaient une cuirasse de 10^{cm} au lieu de 15^{cm} indiqué par les annuaires, et que le blockhaus avait une épaisseur de 19^{cm} au lieu de 25^{cm}. On a cherché peut-être par ces diminutions à alléger les hauts. En tous cas, cela confirme les plaintes de l'Amiral Rodjestvensky sur l'insuffisance des cuirassements.

Toutefois, il faut constater qu'aucune perforation n'a été observée sur les bâtiments Russes et notamment sur l'*Orel* ; il serait surprenant que seuls les bâtiments coulés aient eu leurs cuirasses perforées.

Ces détails et ces commentaires un peu longs nous ont paru indispensables pour préciser dans quelles conditions de protection les bâtiments se sont présentés au combat. Venons maintenant à l'examen des faits.

La bataille de Tsoushima s'engagea vers 2^h20^m.

L'*Osliaha*, qui tenait la tête de la première colonne Russe, fut, en quelques instants, écrasé par le feu Japonais ; un violent incendie se déclara. Après avoir essayé de se maintenir à son poste, il quitta la ligne vers 2^h45^m. Il avait reçu plusieurs projectiles à l'avant, ouvrant une brèche dans la partie non cuirassée. Par cette brèche les lames envahissent le faux-pont ; d'après le récit d'un officier survivant, l'eau pénètre peu à peu de compartiment en compartiment ; les soutes à munitions tribord sont remplies, peut-être pour essayer de redresser le bâtiment, peut-être par infiltrations successives. En même temps, l'incendie est à bord, et rend sans doute les manœuvres difficiles ; le navire s'incline de plus en plus, le pont devient vertical et le bâtiment chavire. Il n'était que 3^h10^m, la bataille n'était engagée que depuis 50 minutes.

On est en droit de supposer que le désastre s'est produit de la façon sui

vante : l'eau entrant à flots, par la brèche de bâbord, a fait enfoncer l'avant, et s'est répandue ainsi sur tout le pont cuirassé, en passant par-dessus la traverse cuirassée de l'avant. Cette invasion a suffi pour diminuer beaucoup la stabilité. D'autre part, l'eau a dû pénétrer dans les fonds par les panneaux du pont cuirassé, et noyer successivement les soutes. Les cloisons, les portes étaient insuffisamment étanches ; l'infiltration semble s'être produite peu à peu, puisque près d'une heure s'écoula entre le début de l'action et le chavirement. Le bâtiment avait pris une forte bande à bâbord ; on ne réussit pas à le redresser par le remplissage de compartiments à tribord. En tous cas, l'invasion progressive du pont devait réduire assez la stabilité pour que le bâtiment chavirât sous un coup de roulis, ou au moment d'une giration. L'*Oslabia* a succombé lentement à une avarie ressemblant à celle qui a emporté le *Victoria* en quelques minutes.

Nous avons des renseignements moins précis sur les incidents qui se produisirent sur le *Kniaz-Souvarof*, le *Borodino* et l'*Alexandre-III*.

Il est probable que l'artillerie pratiqua des brèches sur ces trois bâtiments ; si l'on se souvient que la cuirasse épaisse était entièrement noyée, que la hauteur de la cuirasse mince de 152^{mm} était, au moment du combat, au plus de 1^m,70 à 1^m,80 au-dessus de l'eau, on admettra aisément que l'eau a pénétré sur le pont cuirassé par des brèches soit de la cuirasse mince, soit même, à cause de l'état de la mer et du roulis, par des brèches au-dessus de la cuirasse. L'invasion du pont devait diminuer la stabilité déjà réduite.

Le *Kniaz-Souvarof* était sorti de la ligne vers 3^h, ayant perdu un de ses mâts et deux cheminées, et se défendant contre l'invasion de l'eau et l'incendie ; il subit une première attaque de torpilleurs, et reçut une torpille à l'arrière, qui le mit à la bande. Il erra ensuite plusieurs heures sur le champ de bataille, se maintenant difficilement à flot ; il coulait lentement, lorsqu'un torpilleur Japonais réussit à lui envoyer une torpille à l'arrière du compartiment des machines ; l'avant du cuirassé s'éleva hors de l'eau, puis le navire disparut en quelques minutes, à 7^h20^m. Il ne semble pas qu'il ait chaviré ; rappelons que l'intervalle des deux ponts cuirassés était rempli de charbon ; cette précaution a, sans doute, conservé la stabilité du bâtiment (1).

(1) La plupart des écrivains qui ont écrit sur la bataille de Tsoushima se sont trompés sur la cause du chavirement. Le chavirement est dû, non pas seulement à ce qu'il y avait excès de poids d'un des bords, mais surtout parce que l'invasion de l'eau sur le pont avait réduit le moment d'inertie de la flottaison au point de diminuer d'une façon dangereuse ou d'annuler le couple de redressement. Il faut rappeler, en effet, que ce couple est mesuré par le produit $P(\rho - a)$, et que ρ est le quotient du moment d'inertie de la flottaison par le volume de la carène. A mesure que l'invasion de l'eau se fait, ce moment d'inertie diminue ; cette diminution est même très rapide, puisque la largeur entre à la 3^e puissance dans le calcul. Si, à cette première condition défavorable, l'on ajoute une bande initiale due, soit à l'invasion de l'eau d'un bord, soit à la consommation des munitions et du charbon, le bâtiment peut se trouver dans un équilibre tellement instable, qu'il chavire immédiatement, si l'on met de la barre brusquement d'un bord.

Le *Borodino* et l'*Alexandre-III*, attaqués à la même heure que les deux premiers bâtiments, et envahis par l'incendie, résistèrent plus longtemps. On relève, à une phase du combat, que le premier enfonçait de l'avant, et que le second donnait de la bande à bâbord. L'*Alexandre-III* réussit, à un moment donné, à se redresser, et, profitant de la brume, à échapper provisoirement à l'ennemi. Vers 6^h du soir, les débris de la flotte cuirassée Russe s'étaient rejoints, et cherchaient à s'échapper vers le nord, lorsque l'escadre Japonaise les attaqua à nouveau, en concentrant son feu sur le premier bâtiment de tête. L'*Alexandre-III*, le premier, ne gouvernant plus, en plein incendie, coula en chavirant; peu après le *Borodino* fut tout à coup entouré de fumée, et coula si vite, qu'on ne put sauver presque personne. Au moment où l'arrière entra dans l'eau, les deux pièces de sa tour arrière faisaient feu; il est probable que l'incendie avait gagné ses soutes à munitions, et que le navire avait fait explosion.

Trois autres cuirassés ou garde-côtes cuirassés disparurent à Tsoushima.

Le *Navarin* et le *Sissoï-Veliky*, cuirassés d'ancien type (1891 et 1894) à peu près semblables, possédaient une ceinture épaisse de 400^{mm}, qui protégeait les deux tiers environ de la longueur du bâtiment; un réduit cuirassé à 120^{mm}, contenant 6 canons de 152, s'étendait entre les deux tourelles; un pont cuirassé courbe, analogue à celui de l'*Osliaha*, recouvrait les fonds du bâtiment. La disposition du *Navarin* était sensiblement la même.

Quant à l'*Amiral-Ouchakof*, et les autres garde-côtes, ils étaient protégés par une ceinture épaisse surmontée d'un pont cuirassé.

Tous ces bâtiments étaient en surcharge, et l'on peut affirmer que leurs ceintures étaient entièrement noyées; en réalité, le *Sissoï-Veliky* et le *Navarin* étaient protégés sur la moitié de la longueur du bâtiment; les garde-côtes ne l'étaient pas plus que si leur cuirasse eût été à fond de cale. Leur sort ne pouvait être douteux. Cependant, ces bâtiments, que quelques coups de canon auraient fait chavirer, furent négligés ou inaperçus pendant le combat de jour. Seul, le *Sissoï-Veliky*, ayant reçu douze coups de gros calibre, avait embarqué beaucoup d'eau, et était à la bande. Torpillé dans la nuit, son gouvernail brisé, l'incendie à bord, il réussit néanmoins à s'échapper; mais le lendemain, au moment où la poursuite Japonaise allait le rejoindre, il coula ou se laissa couler. Le même sort fut réservé, dans des conditions semblables, au *Navarin*, au *Vladimir-Monomakh* et au croiseur cuirassé *Amiral-Nakhimof*.

Les incidents relatifs à ces bâtiments permettent de conclure que l'artillerie Japonaise leur a fait relativement peu de mal; leur système de protection était très défectueux; quelques coups de 305 auraient pu les faire chavirer. En réalité, ils n'avaient pas d'avaries graves, mais la destruction de leurs superstructures les laissait sans défense contre les torpilleurs.

Nous avons noté tout ce que nous avons pu savoir sur la façon dont dispa-

rurent les principaux cuirassés Russes : le *Kniaz-Souvarof* fut torpillé, l'*Alexandre-III* chavira et le *Borodino* fit explosion. Nous verrons plus loin quels violents incendies se propagèrent à bord de ces bâtiments, sans compter les avaries de mâture, de gouvernail, de cheminées, etc. L'ensemble de ces avaries laisse supposer — et le fait est confirmé par les survivants — que les équipages de ces navires, écrasés par la pluie de projectiles, asphyxiés par les projectiles explosifs, aveuglés par les flammes des incendies, et par les fumées s'échappant des trous pratiqués dans les cheminées, ont été hors d'état de faire le nécessaire pour combattre les voies d'eau, et éviter l'invasion de l'eau sur les ponts. Il est probable que l'incendie rendait inaccessibles certains compartiments. Mais, si l'on considère que les premières avaries sont constatées dès 2^h30^m de l'après-midi, et que les bâtiments ne disparurent qu'à 7^h du soir, il est permis de supposer que les voies d'eau furent peu importantes, et que, ainsi que le constate l'Amiral Rodjestvensky, les cuirasses ne furent pas défoncées; elles furent sans doute disjointes, peut-être perforées; mais il est vraisemblable que l'artillerie Japonaise n'ouvrit pas de grandes brèches. Si l'on se rappelle que la cuirasse épaisse était sous l'eau, et que la seule cuirasse opposée aux projectiles ennemis était de 150^{mm}, c'est-à-dire celle de l'*Ernest-Renan*, on a lieu de s'inscrire en faux au sujet de l'opinion généralement reçue que les cuirassés Russes ont été coulés à coups de grosse artillerie. Si réellement les bâtiments Russes avaient été accablés de coups de 305 tirés aux distances réduites, où se sont trouvés à certains moments les combattants, les voies d'eau pratiquées dans une cuirasse mince de 150 ne leur auraient pas permis de survivre aussi longtemps, et le coup de grâce, explosion ou torpille, qui frappa le *Kniaz-Souvarof* et le *Borodino* eût été superflu.

Cette hypothèse se trouve confirmée par l'examen de l'*Orel*, qui, en queue de la ligne des cuirassés, fut relativement épargné, et se rendit le lendemain. On constate qu'il n'avait reçu que trois coups de gros calibre, dont aucun n'avait atteint la cuirasse.

Faut-il émettre l'hypothèse que, grâce à l'état de la mer et au roulis, des brèches furent faites au-dessous de la cuirasse? Cela n'a rien d'impossible, mais nous avons déjà constaté l'effet peu grave d'un très grand nombre de coups, qui ont atteint, sous la flottaison, les bâtiments tant Russes que Japonais. Peut-être en a-t-il été de même? Nous ne pouvons que poser la question sans la résoudre.

Aussi nous semble-t-il que la vraie cause, l'unique cause peut-être du désastre Russe, ce sont les incendies violents, qui se sont déclarés à bord, dès le début du combat. Toutes les relations s'accordent à dire que successivement l'*Osliaïa*, le *Borodino*, le *Kniaz-Souvarof*, l'*Alexandre-III*, entourés de flammes et de fumée, ont dû quitter la ligne de bataille. Le *Souvarof*, en feu, n'était plus maître de sa manœuvre; la direction dut être transférée au poste central. On rapporte que, sur le *Borodino*, l'incendie gagna les machines, qui

durent être évacuées; le bâtiment, toujours entouré de flammes et de fumée, coula subitement. De même le *Sissoï-Veliky* avait dû combattre un incendie, et se retirer de la ligne.

Les incendies violents, qui furent constatés à Tsoushima, font un singulier contraste avec ceux que nous avons relevés plus haut; cependant ces bâtiments avaient leur pont en bois sur platelage, et leurs emménagements étaient partiellement métalliques. Malheureusement, le souci de la navigation, et le désir d'atteindre avant tout Vladivostock avaient fait perdre de vue aux Russes le danger d'accumuler des matières incendiaires dans le haut des bâtiments, et, en fait, sur certains bâtiments, les batteries et les chambres d'officiers, même les appartements de l'amiral, étaient remplis de charbon.

Comment s'étonner, dans ces conditions, des incendies violents qui se déclarèrent dès l'arrivée des premiers obus? Non seulement ces obus durent mettre le feu au charbon, et transformer certains compartiments en vastes brasiers, empêchant toute circulation et gênant les manœuvres, mais il n'est pas téméraire de supposer qu'une partie de ce charbon emmagasiné dans des batteries au-dessus des chaufferies et des machines, a dû dégager des gaz, qui, enflammés au contact des obus et des incendies partiels, ont activé la propagation des incendies. Ces gaz, brûlant en léchant les parois, expliqueraient cette observation incompréhensible, qu'une interview prête à l'Amiral Rodjestvensky, d'après laquelle les peintures elles-mêmes brûlaient.

Pour peu qu'il se soit produit des inflammations de parcs à munitions, analogues à celles que l'on a constatées sur le *Varyag*, le *Rossia*, le *Cesarévitch*, on voit quel enfer devaient être les ponts des bâtiments Russes; on s'explique l'affolement du personnel, et cette impression des survivants, qui déclarent que l'explosion incessante des projectiles produisait une nappe de feu, qui répandait dans les blockhaus et les tourelles une chaleur suffocante, et sans doute l'asphyxie. Il y a lieu de supposer que les imprudences des Russes ont plus fait pour atteindre ce résultat que les obus des Japonais. L'*Orel*, resté, il est vrai, en queue de la ligne, n'avait pas été, comme les autres bâtiments, le point de mire des canons Japonais, mais il a pris part cependant à toute la bataille; il n'avait reçu en tout que 33 projectiles; on constata après sa reddition qu'il y avait eu du charbon jusque dans les chambres de l'amiral, mais son approvisionnement était presque épuisé; c'est à cela qu'il dut sans aucun doute son salut.

Ainsi, à la nuit, les cuirassés Russes, ayant brûlé pendant des heures dans les conditions que nous avons indiquées, étaient transformés en épaves flottantes; les projecteurs, l'artillerie légère, les monte-charges étaient devenus inutilisables, au point que le *Souvarof* se servait d'une pièce de 152 pour tirer sur les torpilleurs. Ils étaient voués à la torpille, et c'est ainsi d'ailleurs qu'ils disparurent.

Nous arrivons donc à conclure que le désastre des trois cuirassés type *Borodino* n'est imputable, ni à l'action prépondérante de la grosse artillerie

Japonaise, ni à la mauvaise construction des bâtiments, mais uniquement aux effets de la moyenne artillerie s'attaquant à des navires chargés de charbon dans les hauts.

On voit à quel point un examen critique des faits, et une discussion un peu serrée modifient les impressions qui se sont fait jour dès le lendemain du combat, dans les milieux maritimes et dans la presse. Ainsi que l'ont constaté récemment à la fois Sir William White et M. Lorenzo d'Adda, c'est l'artillerie moyenne à explosifs qui a tout fait, et elle doit son succès à Tsoushima à l'imprudence avec laquelle les Russes ont accumulé des matières incendiaires dans les hauts des bâtiments. L'ensemble des avaries de détail que nous avons rapportées, et le récit que nous venons de faire, permettent d'affirmer également que, dans la guerre récente, la grosse artillerie n'a présenté sur la moyenne aucune espèce de supériorité. Si le *Cesarevitch* a été indemne le 10 août, c'est que l'amorçage des projectiles les faisait éclater au premier choc, et que, par suite, les projectiles Japonais étaient impuissants sur les cuirassements. Si les cuirassés type *Borodino* n'avaient pas été chargés de charbon dans les hauts, ils auraient peut-être échappé à l'étreinte Japonaise sans plus de mal que le *Cesarevitch* le 10 août.

En tous cas, un fait très important ressort de ces incidents ; c'est que, sur cinq bâtiments à peu près de même valeur offensive et de même date, attaqués dans des conditions à peu près semblables, un seul, l'*Osliaha*, est détruit en 50 minutes ; les quatre autres, malgré l'infériorité de leur système de défense, luttent toute la journée. Cette différence dans la résistance est due sans doute uniquement à la ceinture complète, qui protégeait les cuirassés type *Borodino*. On ne saurait trop recommander cette constatation aux statisticiens, qui, dans leurs comparaisons entre les diverses flottes, ne marquent aucune différence entre les bâtiments à ceinture complète, et les bâtiments dont l'avant et l'arrière ne sont pas protégés.

IV.

En réalité, la guerre Russo-Japonaise n'apporte aucun enseignement dans la lutte de la cuirasse et du canon.

Nous trouverons cependant dans les faits que nous avons rapportés quelques leçons de détails, qu'il est utile de mettre en lumière.

Un grand nombre de blockhaus ont été touchés, et bien que, pour les motifs que nous avons développés, aucun n'ait été démoli, on a constaté à quel point l'abri qu'ils offraient est précaire. Les éclats ont pénétré, et ont causé à l'intérieur beaucoup de pertes. Il paraît nécessaire de limiter, beaucoup plus qu'on ne le fait, les ouvertures des blockhaus ; peut-être même devrait-on se résoudre à rendre possible la fermeture absolue, en maintenant seulement quelques petites fenêtres munies de volets cuirassés, et en recou-

rant à quelques périscopes pour assurer la vue. L'encombrement des blockhaus par le personnel est également une source de graves dangers ; si l'on veut maintenir les usages actuels, c'est-à-dire concentrer à son abri le cerveau du bâtiment, c'est-à-dire tout le personnel et le matériel qui coopèrent à la direction et l'utilisation du navire, il faut se résoudre à augmenter notablement les dimensions et les poids du blockhaus ; le diviser même en plusieurs parties par des traverses cuirassées. Ne vaudrait-il pas mieux renoncer à nos traditions, transporter franchement la direction de tous les services dans le poste central, réduire le personnel du blockhaus à ce qui est nécessaire pour assurer la vue à l'extérieur, et fournir à ce personnel une protection absolue dans un blockhaus de dimensions très réduites ⁽¹⁾ ?

Les tourelles Russes ont été entièrement indemnes ; on peut seulement en déduire qu'elles sont à l'abri des explosions. Les avaries reçues par les tourelles du *Fudji* et du *Nisshin* ont été plus sérieuses ; notamment la tour avant du *Nisshin* a reçu trois coups, dont deux ont démolí successivement chacun des canons. Après ces accidents, les organes de la tourelle étaient intacts. Il serait imprudent de conclure que les tourelles présentent une résistance suffisante. L'expérience du *Suffren*, en ce qui concerne les tourelles Françaises, nous donne beaucoup plus de confiance que l'immunité des tourelles, le 10 août et à Tsoushima.

Un point, il est vrai, paraît avoir été mis en lumière tout particulièrement, confirmant d'ailleurs ce que l'expérience de la paix indiquait : c'est la situation intolérable où se trouve le personnel des tourelles ; l'air est vicié par les produits de la combustion de la poudre pénétrant dans les tourelles ; il est vicié également par l'explosion des projectiles ennemis dans le voisinage. Sur le *Cesarevitch*, — et il est probable qu'il en fut de même sur les autres bâtiments, — on dut laisser ouverte la porte des tourelles, pour permettre aux hommes de venir respirer chacun à leur tour.

Ce sujet n'est pas sans avoir déjà préoccupé les Amirautés ; mais on ne paraît pas être parvenu à une solution complète. On voudrait résoudre le problème sans grandes dépenses d'argent ni de poids. Ce problème est au contraire de ceux pour lesquels toute économie est maladroite et coupable. Le sort du combat est entre les mains des canonniers des tourelles ; comment espérer qu'ils conserveront leur sang-froid, s'ils sont à demi asphyxiés par les gaz délétères ? D'autre part, il n'est pas douteux que la protection exige, ainsi que pour les blockhaus, que l'on réduise au strict minimum les ouvertures dans les tourelles ; il y a de ce côté-là de grands progrès à réaliser encore. Le jour où l'on y sera parvenu, deviendra-t-il difficile, avec des ventilateurs puissants, de mettre les tourelles, les monte-charges, les soutes même, sous une pression d'air assez forte, 15^{cm} à 20^{cm} d'eau par exemple ? Avec cette pression, on aura moins à craindre les rentrées dans la tourelle

⁽¹⁾ L'Amirauté anglaise paraît devoir se rallier à cette solution.

des gaz explosés, on assurera un renouvellement d'air frais permanent, et les tourelles seront habitables.

En dehors des avaries relevées après le bombardement à Port-Arthur, aucun pont cuirassé n'a été atteint ; la protection des machines a été complète. Nous verrons plus loin ce qui s'est passé pour les chaudières.

Enfin, la guerre Russo-Japonaise ne nous a rien appris de nouveau en ce qui concerne les superstructures ; elles ne présentent pas de dangers en elles-mêmes, mais elles augmentent la cible, risquent de causer des éclats enclouant les tourelles, et donnent naissance à des incendies ; elles sont, en un mot, au jour du combat, une source de dangers. Il faut les réduire au strict minimum. Ces vérités sont depuis longtemps des banalités. Malheureusement, si tout le monde est d'accord en France sur cette observation, on n'a jamais pu constater un effort sérieux pour mettre la pratique d'accord avec la théorie. Les aberrations, du genre de celles qui nous ont valu les superstructures du *Magenta*, constituent toujours le fond de nos idées en cette matière. Il n'est pas aisé de s'en libérer entièrement. Pour la plupart de nos officiers, l'examen des superstructures des cuirassés Anglais, a été, l'an dernier, une surprise ; souhaitons que l'*Entente cordiale* ait au moins pour effet de nous décider à une réforme radicale de nos conceptions à cet égard.

V.

Quelques réflexions sont à présenter à propos de la question des mâtures, des cheminées et du gouvernail.

Avaries des mâtures.

Cesarevitch. — Un obus, traversant le mât et éclatant, tua l'Amiral Witheft et son aide de camp, blessa tous les officiers et matelots sur la passerelle ; les autres furent étourdis ou à demi asphyxiés. Le mât était coupé à sa base ; il n'est pas tombé parce qu'il faisait calme plat ; sinon il aurait tué tout le monde sur le pont.

Un coup dans le mât avant détruit le projecteur.

Gromoboï. — Dans la hune qui portait des canons de 37, un officier et dix hommes sont tués d'un seul coup.

Revitzan. — A la bataille du 10 août, mâts abattus.

Pobieda. — Le mât de misaine est coupé au ras du blockhaus, et retombe en travers du bâtiment sur tribord.

Pallada et Sebastopol. — Mâts abattus.

Poltava. — Mât de signaux coupé.

Peresviet. — Mâts abattus.

Kniaz-Souvarof et Borodino. — Un mât abattu.

Orel. — Un mât abattu; tous les mâts de charge, au nombre de quatre, brisés; le mât de la télégraphie sans fil est emporté.

Mikasa. — Un obus est tombé juste sur le chouque du mât, et a emporté la flèche et l'antenne du télégraphe sans fil.

Almaz. — Mât brisé.

Si l'on tient compte du peu de surface que présentent les mâts, on ne peut s'expliquer le très grand nombre d'avaries que nous venons de relater, qu'en admettant de la part des Japonais un tir réglé trop haut, et une dépense énorme de munitions. Il paraît vraisemblable qu'ils devaient viser la partie haute des superstructures, qui d'ailleurs ont été plus atteintes que les parties basses. Rappelons, à l'appui de ce que nous venons de dire, que le 10 août il paraît établi que le combat fut suspendu faute de munitions.

D'autre part, ce grand nombre d'avaries de mâtures, qui se reproduira vraisemblablement à l'avenir, appelle l'attention sur le danger de compter sur la mâture au moment du combat. A quoi servent, en effet, ces mâts? A porter des officiers télémétristes pour diriger le tir, indiquer les distances, repérer les points de chute? Mais, si ces mâts sont atteints, l'organisation du tir sera compromise au moment même où elle devra donner tout son rendement; il faudra, sous le feu de l'ennemi, changer de système. — Est-ce pour porter des projecteurs ou des canons à tir rapide contre les torpilleurs? Mais le soir d'une bataille, quand l'heure des torpilleurs sonnera, tout cela sera détruit!

Les puissantes mâtures qui ornent nos bâtiments ne se légitiment donc pas; elles sont, quoi qu'on en dise, un reste du passé. Elles sont, à peu de détails près, installées comme celle du *Cesarevitch*, qui, rappelons-le, a été coupée à sa base, et se serait effondrée s'il n'avait pas fait calme plat. On ne peut donc les considérer sans effroi. Seul, un mât léger doit être conservé pour la télégraphie sans fil, et à la rigueur pour abriter un homme dans une hune très réduite; encore devrait-il être installé de telle sorte, que la chute laissât indemnes tourelles et blockhaus, et qu'on puisse s'en débarrasser aisément. On y parviendrait sans doute assez facilement en installant à télescope la partie basse.

Avaries des cheminées, chaudières et machines.

Askold. — Au début du combat, un coup a atteint la base de la cheminée avant, les tôles ont été repliées à l'intérieur, ce qui supprimait le tirage; des éclats tombant dans les chaufferies ont percé 16 tubes, et il a fallu isoler le groupe des 4 chaudières correspondantes.

(Après le combat, les chaudières multitubulaires à petits tubes ont été réparées en 20 heures, malgré les fatigues du combat et de la traversée.)

En même temps, l'enveloppe de cheminée a été déchirée, et la fumée s'est répandue dans le pont et l'entrepont, rendant ces locaux inhabitables. L'acci-

dent n'a eu qu'une gravité relative à cause de la présence des cinq cheminées, et de l'activité du tirage; la vitesse n'a pas sensiblement diminué.

Un 305 a tué l'officier télémétriste sur la passerelle du commandant, et a éclaté sur le pont supérieur en écharpant la cheminée avant.

Deux cheminées traversées de part en part.

Retvizan, Sebastopol, Pobieda : une cheminée abattue.

Poltava, Diana, cheminée trouée.

Cesarevitch. — Un projectile fait un trou de plus d'un mètre carré dans la cheminée avant. Les obturateurs sont restés intacts, et l'on a pu continuer à employer le tirage forcé.

Un autre projectile fait une énorme ouverture dans la cheminée arrière. Les obturateurs, placés entre l'enveloppe et la cheminée, avaient été placés trop haut; on ne pouvait faire du tirage forcé, car l'enveloppe avait été complètement ouverte par l'explosion; les cloisons de la cheminée étaient repliées et bouchaient les orifices. Plusieurs hommes, dans leur chaufferie, ont été blessés par des éclats.

Cette avarie eut pour effet d'augmenter dans des proportions énormes la consommation de charbon, tout en réduisant la vitesse. Le bâtiment était parti de Port-Arthur le 10 août au matin, avec 1120^{ks} de charbon; à son arrivée à Tsing-Tsao, le lendemain à 11^h du soir, il n'en restait que 544.

Tous les tubes de niveau du bord ont été cassés par le tir des pièces du bâtiment.

Kniaz-Souvarof. — Deux cheminées détruites.

Nicolas-I^{er}. — Cheminée avant démolie.

Amiral-Apraxine. — Une cheminée détruite.

Shikhishima. — Le 9 février, une cheminée enlevée.

Fudji. — Un obus de 305 a traversé l'enveloppe de la cheminée avant, et est tombé à la mer sans éclater.

Rossia. — Trois chaudières mises hors de service, faute de grilles cuirassées, par les éclats de projectiles ayant atteint les cheminées.

Gromoboï. — Les caillebotis blindés des cheminées étaient en place; on entendait distinctement pendant le combat les éclats tombant sur les grilles. Un culot de projectile de 200 est tombé à travers le caillebotis blindé; mais celui-ci avait amorti sa chute, si bien que l'éclat s'est arrêté sur un cylindre sans le détériorer.

Dimitri-Donskoï. — Un projectile est tombé dans une chaudière sans éclater.

Nisshin. — Une manche à vent aboutissant à la passerelle avant a été avariée par l'explosion d'un obus, et quelques éclats descendus par l'intérieur ont traversé les grillages cuirassés, et ont endommagé le tuyau d'aspiration d'un ventilateur.

On ne saurait trop attirer l'attention sur les incidents que nous venons de

relater en ce qui concerne les cheminées, les machines et les chaudières. Ils montrent — ce qui n'a rien d'inattendu — que le seul des éléments constituant la puissance des bâtiments de guerre que l'on ne puisse pas protéger, c'est la vitesse.

A l'heure où l'on ne parle dans la presse et dans les discussions parlementaires que de la recherche de la plus grande vitesse, il est utile de constater que les sacrifices faits pour cette vitesse, sont, au moment du combat, annihilés par le moindre projectile atteignant les cheminées. Chose grave ! Plus la vitesse est grande, plus les cheminées sont développées, plus grande est la cible, et plus grand par suite est le risque. Ce n'est pas ici le lieu de discuter la circulaire Française du 12 février 1903 sur les types de chaudières marines ; mais on ne peut nier qu'en limitant à 110^{kg} la combustion par mètre carré de grille, elle n'ait encore compliqué le problème, en imposant des sections de cheminées correspondant à cette faible combustion. Étant donnés les risques, il devient nécessaire de cuirasser au moins la base des cheminées jusqu'au-dessus des ponts ⁽¹⁾ ; plus on emploiera un tirage actif et une combustion énergique, plus on pourra réduire la section des cheminées, et par suite le poids du cuirassement et la surface de la cible.

Les nouvelles constructions Japonaises, qui comprennent l'emploi de chaudières à petits tubes Miyabara, ont adopté la disposition suivante : la cheminée est cuirassée sur une hauteur suffisante pour assurer la combustion pendant le combat ; pour la navigation, une cheminée en tôle démontable, ou sans doute coulissant dans la portion cuirassée, vient se superposer à la portion cuirassée. Cette disposition laisse supposer que l'on emploiera le tirage forcé pour le combat.

On peut se demander si, en présence de l'immense intérêt qu'il y aurait à protéger la vitesse, on ne pourrait pas recourir à une solution beaucoup plus radicale, et sans doute moins lourde qu'un cuirassement des cheminées. Cette solution consisterait à faire déboucher les conduits de fumée horizontaux venant des cheminées dans de grands puits verticaux ; ces puits s'ouvriraient à la partie haute, et seraient munis en temps de paix de cheminées télescopables. Pour le combat, la partie supérieure pourrait être fermée, et des conduits horizontaux mèneraient la fumée soit à tribord, soit à bâbord, suivant les circonstances. Un tel dispositif aurait l'avantage de permettre la

(1) Chacune des trois cheminées des cuirassés type *Patrie*, calculées pour une combustion de 110^{kg} par mètre carré de grille, ont une section de $5^{\text{m}^2}, 71$; la cible totale présentée dans le plan longitudinal est de 142^{m^2} . Avec des chaudières à tirage forcé, brûlant 300^{kg} par mètre carré de grille, la section des cheminées serait de $2^{\text{m}^2}, 77$ et la cible serait réduite à 91^{m^2} . Si l'on blindait la base de ces cheminées par une épaisseur de 10^{cm} sur 4^{m} de hauteur, le poids de blindage serait de 80^{t} dans le premier cas et de 52^{t} dans le second ; et, comme tout poids se répercute sur le déplacement, le blindage des cheminées coûterait environ, en augmentation de déplacement, 240^{t} dans le premier cas, 151^{t} dans le second. Ces chiffres donnent une idée de l'importance de la question posée.

suppression des grilles cuirassées, qui sont, à dire vrai, lourdes, encombrantes et peu efficaces.

Une même disposition devrait être employée pour la ventilation. Munir les passages de ventilation de caillebotis cuirassés est une complication, qui, dans nombre de cas, serait sans effet. Les immenses bâtisses modernes qui s'élèvent dans Paris sont aérées intérieurement par des cours intérieures, qui, en réalité, sont des puits d'aérage. Ne pourrait-on pas imiter cette disposition, établir deux ou trois vastes puits d'aération, s'étendant du haut en bas du navire, et dans lequel les compartiments voisins puiseraient l'air. En temps de paix, ces conduits seraient surmontés de sortes de cheminées d'appel allant chercher l'air pur en dehors du bâtiment. On résoudrait à la fois le problème, si insoluble par les procédés actuels, de l'aération des bâtiments et de la protection des fonds contre la chute des éclats ; car cette disposition permettrait de supprimer, pendant le combat, toute ouverture dans le pont cuirassé. Les puits d'aérage seraient utilisés pour la circulation à l'aide de balcons et d'échelles, qui régneraient alentour d'eux aux divers étages du bâtiment.

Quelques mots doivent être dits sur les gouvernails. On a remarqué à juste titre la grande quantité de gouvernails avariés pendant les opérations. Le *Cesarevitch*, qui, dans une phase du combat du 10 août, a tout à coup tourné sur lui-même, n'étant plus maître de sa manœuvre, n'a pas eu d'avarie de gouvernail. Mais, ainsi qu'on l'a rapporté plus haut, un obus pénétrant dans le blockhaus a blessé ou tué tout le personnel. Le timonier, notamment, a été tué, et, en tombant, a bloqué la roue ; dans le désordre qui a suivi, on a mis quelque temps à se reconnaître avant de débrayer la commande du blockhaus.

Cet incident montre à quel point il est nécessaire de protéger d'une façon absolue le timonier, soit en l'enfermant dans un blockhaus sans ouverture, soit en faisant gouverner par le poste central.

Le *Rurick*, le 14 août, a reçu dans le compartiment de la barre un obus de 200, qui a immobilisé le gouvernail tout d'un bord. Le cuirassement du *Rurick* laissait, à l'avant et à l'arrière, environ 15^m non protégés.

Même situation sur le *Sissoï-Veliky*, qui eut son gouvernail avarié à Tsoushima. Nous n'avons pas de détails sur l'installation du gouvernail de ce bâtiment ; était-il à l'abri du pont-cuirassé ? On peut en douter, vu la disposition de ce pont, qui s'abaisse à l'arrière et laisse peu de place pour l'installation de la barre. Même si les appareils étaient sous le pont, ils n'étaient sans doute pas indépendants de ce pont, et un projectile explosif défonçant légèrement était suffisant pour immobiliser la barre. Cette dernière explication s'applique peut-être également au *Nicolas-I^{er}*, qui possède une ceinture complète.

Les Japonais n'ont pas été à l'abri d'incidents de ce genre. A Tsoushima, l'*Azama*, l'*Iwate* et le *Matsoushima* ont eu des avaries dans leur appareil à gouverner, et ont dû se retirer quelque temps du combat, pour effectuer, par

leurs propres moyens, les réparations nécessaires. Mais, sur ces divers bâtiments, la ceinture n'est pas prolongée jusqu'à l'arrière, et, sans doute, la protection du gouvernail laisse à désirer.

On signale enfin qu'à Tsoushima l'*Orel* et le *Borodino* ont eu leurs gouvernails avariés. Cependant, sur ces deux bâtiments, l'arrière est parfaitement protégé par les deux ceintures et les ponts cuirassés. Mais on sait combien les désordres dans les transmissions se présentent fréquemment, et l'on ne peut pas être surpris si pareil cas s'est produit.

Quoi qu'il en soit, un enseignement très net se dégage. L'importance du gouvernail est telle, qu'il n'est permis de rien négliger pour assurer la protection. Il semble que, dans les constructions modernes, le seul résultat à atteindre serait de simplifier et de rendre les transmissions plus sûres et robustes. Mais peut-être prendrait-on une sage mesure en installant un gouvernail, dit de combat, imitant le gouvernail avant des torpilleurs, c'est-à-dire placé à l'avant, sous la quille, et remontable dans un puits. Un gouvernail de ce genre ne serait considéré que comme un gouvernail de fortune, pour se tenir en direction sur le champ de bataille. Il ne serait donc pas nécessaire qu'il eût une grande surface, et qu'il fût manœuvré mécaniquement. Avec un programme ainsi réduit, son installation serait sans doute relativement aisée ⁽¹⁾.

Quelques mots au sujet des appareils de communication à bord.

On a constaté, ainsi qu'on pouvait le prévoir, que, pendant les combats, les téléphones sont inutilisables, soit que les chocs ou les explosions les aient dérangés, soit que le bruit empêche de les entendre. On signale de nombreux cas, notamment sur l'*Askold*, où, faute d'un transmetteur suffisant, on dut envoyer les ordres dans les machines par des timoniers.

De graves interruptions dans les circuits électriques ont été causées par les éclats, qui coupaient les fils, et occasionnaient des courts-circuits, et des commencements d'incendie. Il semble indiqué de mettre hors du circuit, avant le combat, tout le réseau qui ne peut pas être entièrement protégé.

VI.

Nous n'avons jusqu'ici parlé, sauf incidemment, que des avaries dues aux tirs de l'artillerie. Il nous faut maintenant envisager les effets des torpilles.

⁽¹⁾ Un gouvernail de ce genre est prévu sur le croiseur cuirassé Russe en construction dans les chantiers Vickers.

Avaries dues aux torpilles Whitehead. — Action des torpilleurs.

Le 8 février, on compta 23 torpilles lancées ; trois seulement touchèrent.

Cesarevitch (8 février). — Le revêtement et les membrures sont déchirés par l'explosion d'une torpille sur une surface d'environ 9^m sur 3^m ; le pont cuirassé est déformé sur une longueur de 6 mailles. La cuirasse est repoussée vers l'intérieur ; la membrure sous cuirasse est déformée fortement sur une longueur de 4 mailles ; la cloison arrière est déformée. Quatre compartiments sont envahis ; dans l'un d'eux, l'eau pénètre par le trou de la serrure. Les cloisonnements environnants résistent, et l'avarie est entièrement localisée. Le bâtiment prend une bande de 17° ; on met plus d'une heure à le redresser.

Dans la nuit du 10 août, le *Cesarevitch* subit neuf attaques de torpilleurs ; aucune ne réussit ; on distinguait nettement les trajectoires des torpilles, qui laissaient une trace lumineuse sur la mer phosphorescente.

Le reste de l'escadre Russe, rentrant à Port-Arthur, est attaqué par 40 torpilleurs en escadrille ; les attaques se succédèrent toute la nuit. Seul, le *Poltava* fut touché, et dut rentrer à la remorque, avec ses machines avariées, son gouvernail brisé, et une forte voie d'eau.

Le *Diana* subit neuf attaques de torpilleurs sans résultat.

Le 24 juin, en rade de Port-Arthur, huit attaques de torpilleurs Japonais ; pas un seul coup au but. Le 1^{er} juillet, la division des croiseurs de Vladivostock est attaquée par une escadrille ; nuit claire, attaque à contre-bord dans de bonnes conditions ; pas une torpille au but.

Gromoboi. — Les torpilles avaient été laissées dans les tubes, en dehors, chargées. Il y eut sans doute des explosions partielles dues aux éclats, car les cônes ont disparu, et les cuillers ont été trouvées fendues. Mais les navires n'ont pas souffert.

Kniaz-Souvarof. — Déjà très avarié, reçut deux torpilles et coula.

Sissoï-Veliky. — Reçut deux torpilles pendant la nuit, et ne coula pas de suite ; il coula ou se laissa couler le lendemain à l'approche d'une division Japonaise.

Amiral-Nakhimof, Vladimir-Monomakh. — Désemparés, la nuit, par des torpilles, ne coulèrent qu'au matin.

Navarin. — Reçut deux torpilles de chaque bord, et coula aussitôt.

Sebastopol. — Ce bâtiment s'était placé, à la fin du siège de Port-Arthur, dans la rade extérieure, pour échapper au bombardement de la rade intérieure. Il n'avait qu'un noyau d'équipage, 300 hommes au lieu de 750, et son artillerie légère était débarquée ; il ne lui restait que des 152. Il était protégé par des filets Bullivant dans la partie centrale, et un élément d'estacade le couvrait du côté du large. Soixante torpilles, suivant certains récits, 180, suivant d'autres, furent lancées durant cinq nuits. Une seule toucha à l'arrière. D'autres firent tête sur le filet ; on les envoyait détacher avec une

embarcation, et couler un peu plus loin. Une d'elles atteignit le filet, près de l'extrémité avant, et y resta engagée, l'hélice tournant toujours. Elle soulevait ainsi le filet, et permit à une deuxième torpille, lancée presque aussitôt, de passer. Celle-ci fit explosion sur l'étrave, et fit enfoncer le *Sebastopol* de l'avant. Le bâtiment resta à flot, et fut coulé quinze jours après par les Russes, lors de la capitulation.

Transport *Sado-Maru*. — Torpillé par le *Rurik*.

Une première torpille a touché le compartiment des machines. Brèche de 4^m,87 sur 5^m,18. Tout ce qui était dans le compartiment, pompes, condenseur, arbre de couche fut projeté au loin. La cloison séparant les machines des chaudières fut mise en pièces, et une chaudière fut déplacée de 10^{cm} à 12^{cm}.

La deuxième torpille fit explosion dans la soute à charbon, devant le compartiment des chaudières tribord : brèche de 2^m,10 sur 3^m,90. L'explosion brisa la cloison de la soute, et déplaça la chaudière.

Malgré ces avaries, le bâtiment ne coula pas, et les Japonais purent le ramener dans un dock.

Il résulte nettement de tous ces faits que les torpilleurs Japonais ont fait faillite. Ils ont réussi, non sans peine, à achever des mourants, qui n'avaient plus pour se défendre ni projecteurs, ni artillerie légère. Ils pouvaient s'approcher des Russes assez près, dans certains cas, pour être « dans l'angle mort des canons et par conséquent être à l'abri ». Sans doute, à Tsoushima, la mer était dure, et peu favorable aux lancements ; mais, le 10 août, la mer était plate.

Il serait dangereux de conclure de cette impuissance à l'abandon du torpilleur comme arme de défense et d'attaque. D'après les récits que l'on possède, les torpilleurs Japonais attaquaient comme un essaim d'abeilles, sans ordre ni méthode, et tiraient beaucoup trop loin. En sera-t-il de même avec des escadrilles mieux entraînées, et mieux préparées ? On peut se poser cette question.

Quant à la torpille Whitehead elle-même, il semble que la guerre Russo-Japonaise la classe définitivement comme une arme sans doute très dangereuse, mais incapable à elle seule de donner à un bâtiment le coup décisif. Elle crée une avarie grave, majeure souvent, et forçant le bâtiment à regagner le port, mais il ne faut pas, sauf exception, lui demander davantage. Encore est-il présumable qu'avec certaines mesures il deviendra possible de réduire ses effets à tel point, qu'un torpillage n'aura d'autre suite que le sacrifice d'un ou deux compartiments, et ne mettra pas le navire hors de combat. L'avarie produite est de beaucoup inférieure à celle due à une torpille automatique de même poids ; cela tient sans doute à un rebondissement, grâce auquel l'explosion se produit à distance : on sait combien la moindre interposition d'un matelas d'eau crée de différences dans l'efficacité d'une explosion.

D'autres enseignements sont à retenir : le soir de Tsoushima, si la torpille et le torpilleur ont eu si beau jeu, malgré des circonstances de temps médiocres, et s'ils ont réussi à détruire des bâtiments faiblement touchés, c'est que l'artillerie Japonaise à tir rapide avait désarmé les projecteurs et l'artillerie légère. On ne saurait trop appeler l'attention sur ces faits, pourtant si évidents, et qui n'avaient pas besoin, pour être connus, de l'illustration d'une bataille. La destruction de l'artillerie légère fait, en plein jour, du cuirassé la proie du torpilleur. Est-il si difficile de protéger l'artillerie légère, et ne peut-on pas, au lieu de l'installer dans les endroits les plus exposés du bâtiment, la mettre à l'abri derrière des cuirassements ?

La batterie de 75^{mm} des cuirassés Russes type *Borodino* était, en fait, cuirassée à 75^{mm}; cette cuirasse très mince a-t-elle été démolie par les tirs Japonais ? C'est assez vraisemblable; les canons étaient placés derrière des sabords très larges; d'autre part l'incendie a pu anéantir une partie d'entre eux. Il ne faut pas être surpris si, dans ces conditions, les attaques des torpilleurs sur le *Souvarof* eurent un résultat. La règle de protéger le canon par une cuirasse de l'épaisseur du calibre, qui paraît avoir été appliquée aux cuirassés type *Borodino*, n'est pas défendable dans l'espèce; on n'attaquera jamais un cuirassé avec des pièces de 75. Il faut donc abriter les canons destinés à arrêter les torpilleurs, de telle sorte qu'ils puissent survivre à un bombardement de plusieurs heures; une cuirasse de 15^{mm}, 2 est nécessaire à cet effet; la solution qui consisterait à conserver les canons légers à l'abri du pont cuirassé, et à les installer par des moyens de fortune, à l'heure où les attaques des torpilleurs sont à craindre, ne paraît pas admissible; on sera surpris par la nuit, et l'on aura bien autre chose à faire, au milieu des démolitions, que de procéder rapidement à de nouvelles installations. Tout au plus une mesure de ce genre pourrait être admise pour les projecteurs.

L'incident du *Gromoboï*, d'après lequel les cônes des torpilles auraient fusé ou éclaté sans commettre de grands dégâts, est à retenir; il montre une fois de plus qu'une explosion à l'air libre n'a pas beaucoup d'effet. De là à conclure que l'on peut, sans danger, conserver des torpilles dans les hauts, il n'y aurait qu'un pas, que nous nous gardons de franchir; le réservoir d'air constitue un danger plus grave que le cône de charge. Or, ce réservoir était absolument garanti par le tube contre les éclats si peu actifs des projectiles Japonais.

Avaries dues aux torpilles automatiques mécaniques

Venons maintenant aux effets des torpilles automatiques mécaniques.

Gromoboï. — Ce bâtiment, sorti de Vladivostock pour faire des essais, a touché une mine automatique mouillée par un fond de 70^m. La charge devait être de 60^{kg} de mélinite, si l'on en juge par une torpille semblable trouvée en même temps à la surface.

Impact au milieu de la chaufferie avant, sur la quille de roulis probable-

ment. Trou s'étendant sur 7 ou 8 mailles. Bordé et double fond démolis; cloison des soutes à charbons déformée, et donnant de l'eau par des déchirures; mais les soutes étaient pleines de charbon, et il n'est pas entré plus de 200^{lit} d'eau à l'heure; les pompes ont pu franchir la voie d'eau.

Bayan. — Ce bâtiment a touché une torpille de blocus par sa quille de roulis, et l'on attribue à cette circonstance qu'il a été indemne.

En sortant le 10 août de Port-Arthur, il toucha de l'arrière sur une torpille, reçut de graves avaries et dut rentrer au port.

Sebastopol. — Sorti le 23 juin pour donner la chasse à des croiseurs Japonais, il rentrait au port, quand il heurta une mine Japonaise. Celle-ci, éclatant à tribord, ouvrit par le travers du mât de misaine, et à 2^m, 15 au-dessous de la flottaison, une brèche de 2^m, 50 à 3^m de haut, sur 10^m à 12^m de long, d'une surface totale d'environ 37^{m²}. Les membrures furent tordues et détruites, le bordé projeté à l'intérieur; le bâtiment ne coula pas.

On répara entièrement l'avarie; on changea les membrures, et l'on refit le bordé. Le 20 septembre, dans une sortie, le *Sebastopol* rencontra de nouveau une mine qui l'endommagea au même endroit; la torpille creusa une brèche de 65^m.

Petropavlosk. — Ce bâtiment fut frappé vraisemblablement par trois torpilles mouillées par une patte d'oie triple sur un même orin, de telle façon qu'en heurtant l'une des trois, on ramenait automatiquement les deux autres contre la carène. Cette disposition explique la double explosion que l'on entendit. Des mines semblables furent d'ailleurs draguées aux environs de Port-Arthur.

Il est probable que les explosions de torpilles provoquèrent l'explosion de certaines soutes à munitions. D'après une autre version, peu plausible, des torpilles automatiques avaient été emmagasinées dans le double fond.

Le bâtiment sauta, environné de flammes, et coula en quelques minutes.

Yashima. — Deux énormes explosions se produisirent à tribord contre la coque; le bâtiment s'inclina de 10°. Les appareils d'épuisement étant impuissants, le navire s'inclina davantage. Le remplissage des compartiments symétriques ne fit qu'alourdir le cuirassé, sans réussir à le redresser. Quand l'inclinaison atteignit 40°, on n'eut que le temps d'évacuer l'équipage; le navire chavira, et disparut presque aussitôt. Au Japon, on attribue la perte du *Yashima* à l'impossibilité où l'on s'est trouvé de fermer les portes des cloisons étanches, qui faisaient communiquer les diverses soutes; les portes ne pouvaient fonctionner à cause de la poussière de charbon. On dit aussi que le bâtiment aurait pu être sauvé s'il n'avait pas eu de cloisons longitudinales.

Chiyoda. — Une torpille automatique a produit une voie d'eau de 7^m, intéressant 7 couples; les tôles du bordé extérieur sont enfoncées sur 20^m. L'ouverture, dans sa plus grande hauteur, part du can de la cuirasse pour se terminer aux tôles de quille, qui n'ont pas été déformées. L'explosion s'est produite dans le compartiment 3, entre les cloisons 2 et 3, et dans lequel se

trouve la soute aux vivres. C'est le plus grand compartiment du bâtiment. Toutes les parties avoisinant l'avarie ont été détruites ou démolies. La cloison transversale avant n'a pas été endommagée, la cloison arrière a été légèrement enfoncée, et l'eau a pénétré dans la soute à charbon ; elle a été arrêtée par la cloison 4. Sur trois panneaux de descente, deux étaient fermés, mais l'un d'eux n'était pas étanche. L'eau a envahi le pont cuirassé, et il a fallu étancher le panneau par des moyens de fortune. Les cloisons 2 et 4, qui s'étaient un peu affaissées, ont été épontillées. La soute à munitions tribord a été enfoncée et remplie d'eau, ainsi que les deux autres soutes à munitions (ces soutes étaient comprises dans le compartiment 3). Les projectiles furent projetés les uns sur les autres ; aucun n'a été brisé, ni n'a éclaté. La soute à munitions était à 3^m de l'avarie. Les 7 hommes qui se trouvaient dans cette soute ont été tués ; leurs os étaient broyés. Les gaz ont pénétré sur le pont par les monte-charges, et ont asphyxié 24 hommes, la plupart canonniers, qui ne sont revenus à eux que 6 heures après. L'odeur des gaz se faisait sentir jusque sur la passerelle. La charge de la torpille était sans doute de 60^{kg}.

Un contre-torpilleur, type *Schichau*, heurta une mine par le travers du carré des officiers. Grâce aux formes effilées de la carène, la gerbe se divisa de chaque côté ; les ponts furent rapprochés au point de n'être séparés que par moins d'un mètre ; mais les tôles ne furent pas déchirées, et le contre-torpilleur ne coula pas.

Pertes des neutres. — Le 11 octobre 1905, perte d'un vapeur Anglais à 15 milles du phare de Shantoung. 15 disparus.

Le vapeur *Amoy*, allant de Shanghai à New-Chang, rencontra quatre mines, qu'il ne put détruire à coups de canon ; une cinquième éclata après 10 coups tirés à 200^m, ébranlant le navire, éteignant les lumières des machines, etc.

On estimait à 300 ou 400 le nombre des mines Japonaises ou Russes à la dérive, tant dans les parages de Vladivostock que dans ceux de Port-Arthur.

Il convient de s'arrêter un peu longuement sur la question des torpilles automatiques.

Sans doute, cet engin est loin d'être nouveau, mais jamais sa puissance ne s'était manifestée à un si haut degré. On lui doit la perte de plus de 60000^{tx} de bâtiments de guerre.

Côté Japonais :

Bâtiments coulés : *Hatsusé*, *Yashima*, *Hei-Yen*, *Sai-Yen*, *Takasago*, deux canonnières, deux contre-torpilleurs, deux torpilleurs, soit environ 40000^{tx} ;

Avaries graves à l'*Akachi* et au *Chiyoda* ;

Avarie légère à l'avant de l'*Asahi*.

Côté Russe :

Bâtiments coulés : *Petropavlosk*, *Yenisseï*, *Boiarine*, deux canonnières, un contre-torpilleur, soit 22000^{tx} ;

Avaries graves au *Cesarevitch*, au *Pobieda*, au *Sebastopol*, au *Gromoboi*, au *Bayan*.

Si l'on songe que l'histoire des guerres maritimes nous enseigne que les opérations se passent généralement à portée des côtes, et dans des parages où les fonds sont peu élevés, on doit s'attendre, dans les prochaines guerres Européennes, à voir se développer l'emploi des torpilles automatiques; sans aucun doute, non seulement la tactique, mais la stratégie navales auront à tenir compte de ce nouvel engin, et des surprises nous sont réservées. En présence de la médiocre efficacité des torpilles Whitehead, on peut même se demander si le rôle du torpilleur, et surtout du sous-marin, ne sera pas, dans l'avenir, d'aller semer sous le passage de l'ennemi des engins analogues à ceux qui ont détruit le *Petropavlosk*.

Quoi qu'il en soit, la préoccupation de l'ingénieur doit être, dès aujourd'hui, de chercher à mettre le bâtiment de guerre à l'abri de ces terribles engins.

Une triple constatation paraît résulter de l'observation de toutes les explosions connues :

1° Lorsqu'on oppose à l'explosion et à la gerbe produites des formes fuyantes, les conséquences de l'explosion sont réduites (1).

2° La différence des effets produits par la torpille Whitehead, explosant après un rebondissement, et la torpille automatique explosant au contact, confirme à quel point on diminue l'importance de l'explosion en écartant légèrement la torpille.

3° En ménageant aux gaz et aux produits de l'explosion une porte de sortie vers le haut (des évents), on détourne les effets de l'explosion. Le fait ressort très nettement de l'examen du *Cesarevitch*, après son torpillage du 8 février.

On a proposé, pour faire exploser les torpilles à distance de la coque, d'augmenter le nombre des quilles de roulis, ou même de placer à certaine distance de la coque de simples gardes en fer, constituant une sorte de cage métallique à très larges mailles. On a proposé également de blinder l'intérieur de la double coque d'un blindage mince de 50^{mm} ; ce serait, dit-on, la solution adoptée par l'Amirauté Japonaise.

Nous nous demandons si on ne trouverait pas un moyen de défense contre les torpilles, plus efficace que ceux que nous venons de citer, en superposant à la coque actuelle des bâtiments une nouvelle coque légère, en tôle de 5^{mm} à 6^{mm}, placée à environ 1^m de la première, et montant jusqu'à 1^m ou 2^m au-dessus de la flottaison. Cette coque serait reliée à la première

(1) Un fait très intéressant à citer à l'appui de cette remarque est le suivant : l'été dernier le *Chatham*, qui contenait 80⁰⁰⁰ d'explosifs, a dû être coulé à la suite d'un incendie dans le canal de Suez. Pour s'en débarrasser on a dû le faire sauter. Deux bouées tronconiques, placées à côté du bateau, n'ont subi aucun dommage du fait de cette explosion de 80000^{kg} de dynamite.

par des couples, dont quelques-uns seraient étanches, de 10^m en 10^m par exemple ; il n'y aurait à cette deuxième carène ni lisses, ni cloisons longitudinales dans les fonds. A la hauteur de la flottaison, deux lisses et un compartimentage transversal seraient disposés pour limiter les voies d'eau dues au tir du canon. En cas de torpillage, les gaz de l'explosion sortiraient par la partie haute de cette coque ; l'eau envahirait tout le compartiment correspondant, mais le navire resterait droit, et il ne s'immergerait que d'une quantité relativement faible. Sans doute, ce dispositif augmenterait la section du maître couple, et diminuerait la vitesse ; mais on réaliserait par ailleurs d'autres économies : une partie du double fond pourrait être supprimée. Les formes nécessaires pour diminuer la résistance à la marche ne seraient données qu'à la carène extérieure ; la carène intérieure serait construite sous forme de successions de caissons avec des parois de tracés simples ; les cuirasses pourraient être des parallélépipèdes, et non pas épouser, au prix de grandes dépenses, les formes de la carène.

VII.

Les détails des avaries de combat, et les observations que nous avons été conduit à présenter, permettent de dire qu'aucun enseignement d'ensemble ne se dégage de la guerre Russo-Japonaise ; quoi qu'en pensent les novellistes ou les gens trop pressés de conclure, ni les partisans des cuirassés, ni ceux des croiseurs cuirassés, ni les partisans de la grosse artillerie, ni ceux de la moyenne n'ont le droit d'y trouver des arguments en faveur de leur thèse. Si l'on s'en tenait au détail des faits, et si l'on ne reconnaissait qu'après tout les Japonais ont été victorieux sans difficulté, et qu'ils ont eu, par conséquent, raison de n'employer que des moyens restreints, on serait plutôt tenté de conclure à la faillite de la grosse artillerie, qu'à reconnaître qu'elle seule doit armer les bâtiments nouveaux.

Mais, dans les navires de combat, il n'y a pas pour l'ingénieur que la cuirasse et le canon ; la guerre Russo-Japonaise appelle notre attention sur quelques points, non pas nouveaux ni ignorés, mais peut-être trop laissés dans l'ombre.

Elle nous invite à nous préoccuper tout d'abord de l'effet des explosifs puissants sur le personnel : un projectile, même de moyen calibre, chargé de mélinite, éclatant dans le voisinage d'une tourelle, asphyxie tous les servants ; un projectile, explosant dans une batterie ou sur un pont près d'une aspiration de ventilateur, asphyxie de même les chauffeurs ou les mécaniciens ; on a vu que l'explosion d'une torpille sur le *Chiyoda* avait asphyxié 24 hommes. Il y a là un danger réel, qui explique peut-être, en même temps que les incendies, les désastres du *Borodino*, du *Kniaz-Souvarof* et de l'*Alexandre-III*, et contre lequel il importe de se prémunir. Nous avons eu l'occasion d'indi-

quer dans le cours de ce travail quelques mesures qui seraient à recommander à notre avis.

D'autre part, il faut aborder franchement le problème de la défense contre les torpilles. Si on l'a, sinon négligé, du moins laissé en deuxième ligne jusqu'à ce jour, c'est que l'on considérait la défense contre les torpilleurs comme assurée, et que les effets que l'on connaissait des torpilles Whitehead laissaient croire — l'expérience de la guerre a prouvé la justesse de cette idée — que ces torpilles ne feraient pas d'avaries majeures. L'entrée en ligne des sous-marins accroîtra, sans aucun doute, les risques de recevoir une torpille Whitehead ; d'autre part, la torpille automatique s'est découverte comme un engin terrible, tel que l'on se figurait, au début, devoir être les torpilles automobiles. Il serait impardonnable, sur les nouveaux bâtiments, de consacrer 1000^{ix} à 1500^{ix} à la recherche d'une vitesse inutile sur le champ de bataille, et de lésiner sur les poids à consacrer à la défense contre les torpilles.

La bataille de Tsoushima nous donne l'occasion de dégager une sérieuse leçon ; c'est que les bâtiments doivent affronter le combat dans les lignes d'eau prévues par le constructeur ; du jour où, par une surcharge, le bâtiment s'enfonce, il cesse d'être l'instrument de guerre sur lequel on peut compter, et pour lequel on a dépensé des millions ; le cuirassé moderne devient un mauvais croiseur cuirassé ; — le cuirassé d'ancien type devient un simple croiseur protégé. Il y a, dans cette remarque, une grave leçon pour la marine Française.

Que l'on examine, au moment où elles quittent les rades de Toulon ou de Brest, nos deux escadres métropolitaines ; on verra que, sur la plupart de nos bâtiments, la cuirasse épaisse est à peu près entièrement noyée ; nos navires sont en surcharge de 40^{cm} à 50^{cm} sur les lignes d'eau du plan, et cependant tous ces navires, à l'inverse de leurs devanciers, ont été livrés par leurs constructeurs, non seulement sans surcharge, mais avec des économies de poids ; personne n'ignore les causes de ces surcharges, qu'une application rigoureuse des règlements ferait immédiatement disparaître. Pour éviter de trop fréquents réapprovisionnements, on embarque du charbon en supplément, et l'on emplit d'eau douce les doubles fonds. Faute grave et inexcusable ! Ceux qui la pratiquent se disent qu'en temps de guerre on renoncerait à ces commodités, et l'on éviterait toute surcharge ; mais, grâce à ce procédé, ils se font illusion à eux-mêmes ; ils peuvent naviguer assez longtemps sans exiger un ravitaillement d'eau et de charbon, et ils ne s'aperçoivent pas des défauts d'organisation et de préparation qui éclateront en temps de guerre, trop tard pour être réparés. Des manœuvres qui emploient le matériel dans des conditions différentes de celles qu'on pourra accepter en temps de guerre sont souvent plus dangereuses qu'utiles.

En se reportant à divers incidents relatés dans le cours de cette étude — désastre du *Borodino*, du *Kniaz-Souvarof*, du *Yashima*, — qui d'ailleurs ne font que donner une illustration pratique à des conséquences, que la théorie a indiquées depuis longtemps, on voit à quel point le constructeur doit se préoccuper d'empêcher un bâtiment de prendre, sous l'effet d'une avarie due au canon ou à la torpille, une bande permanente. Lorsque la démolition des œuvres mortes est commencée, une bande permanente crée, en effet, un danger de chavirement immédiat, et il devra y être paré instantanément. Il serait illusoire de compter, au milieu de l'action, atteindre ce résultat par des manœuvres de robinetterie. Les cloisons longitudinales, notamment les cloisons axiales, seront donc à employer avec les plus grands ménagements. L'ingéniosité des constructeurs devra s'appliquer à multiplier les cloisons transversales, de manière à pouvoir, en cas d'avaries graves dans les fonds, sacrifier entièrement toute la tranche correspondante. Les cloisons longitudinales en abord seraient disposées de façon à ne créer que de petits compartiments sans influence sensible sur la bande du navire, et au besoin, réunis d'une façon permanente au compartiment, sinon symétrique, du moins de moment symétrique par rapport à l'axe. En un mot, le but que se proposerait le constructeur serait qu'à la suite d'une avarie dans les fonds, le navire, automatiquement, restât droit. Les manœuvres de robinetterie ne seraient employées que pour combattre la bande due à des consommations de charbon et de munitions.

On trouve dans cette observation un nouvel argument, décisif peut-être, dans l'emploi de trois machines et de trois hélices : avec ce dispositif, l'immersion de la machine tribord peut être combattue par le sacrifice de la machine bâbord, et il reste encore une machine intacte. Il est à supposer également que l'emploi des turbines permettra de résoudre, dans l'ordre d'idées que nous venons d'indiquer, le problème si délicat du cloisonnement. Une chambre à turbines exige, en effet, des dimensions beaucoup moindres qu'une chambre de machines alternatives, et elle est de nature à comporter des cloisonnements inadmissibles dans le cas de ces dernières.

Nous avons eu l'occasion de constater, dans le cours de cette étude, certains incidents qui marquent à quel point il est nécessaire que la construction navale soit une construction soignée. Sans aucun doute, les désastres de Tsoushima ont en partie leur cause dans le manque d'étanchéité des cloisonnements ; le *Cesarevitch* au contraire n'éprouva qu'un dommage minime d'une explosion de torpille, parce que les cloisonnements résistèrent. Mais on reconnaîtra à quel point il est indispensable que l'étanchéité soit résolue effectivement, non seulement pour les cloisons, mais pour les portes et pour les panneaux.

Les Japonais, instruits par l'expérience, ont décidé que l'on ne pratiquerait plus de portes dans les cloisons étanches des soutes. L'Amirauté Anglaise

entre dans la même voie : il est même question, paraît-il, pour permettre la circulation, d'installer des ascenseurs à l'avant et à l'arrière de chaque cloison étanche. Semblable décision a été prise souvent par les Amirautes ; mais les exigences de la vie journalière et l'oubli des enseignements du combat ont toujours, dans la pratique, fait fléchir les règlements.

On reproche fréquemment aux ingénieurs Français de se complaire, en vue de permettre l'isolement d'un compartiment avarié, dans la recherche d'une perfection exagérée ; sans doute, cette manière de faire a pour effet d'augmenter le prix des bâtiments de guerre, et de donner à notre industrie, lorsqu'elle est en concurrence avec l'industrie étrangère, une certaine infériorité ; constatons que la valeur des bâtiments, qui sont faits pour affronter le feu de l'ennemi, ne devrait pas se mesurer au feu des enchères.

Enfin, une dernière réflexion s'impose.

L'Amiral Rodjestvensky paraît avoir été hypnotisé par l'idée de conduire à tout prix sa flotte à Vladivostock : la question de navigation a été son unique préoccupation, et la crainte de voir ses bâtiments manquer de charbon a pris à ses yeux une suprême importance. Aussi sa navigation de Cronstadt à Tsoushima restera un modèle ; mais à quel prix !

Dans le même ordre d'idées, nous sacrifions trop, sur nos bâtiments, aux besoins du temps de paix. Sans doute, un navire de guerre doit vivre au mouillage et naviguer par tous les temps ; mais avant tout il doit être prêt à combattre. Malheureusement, dans toutes les Marines et surtout dans la nôtre, cette préoccupation passe au second plan ; il faut que nos navires offrent à nos équipages un casernement modèle, avec toutes les séparations et distinctions que la hiérarchie commande ; il y a des salles de bains, des séchoirs, des salles d'école, des salles de dessin, etc., etc. Il faut également que nos navires constituent pour les malades et les blessés des hôpitaux modèles, munis de salles d'opération, de désinfection, etc.

De ces besoins naissent ces superstructures énormes, qui caractérisent les bâtiments Français, et qui rendent nécessaire un luxe de passerelles inusité ailleurs. On perd de vue le combat à un tel point, qu'aux arguments des ingénieurs préconisant, pour des raisons militaires et techniques, les chaudières à tirage forcé, on oppose la fatigue des chauffeurs, comme si pareille raison — fausse d'ailleurs — devait entrer en ligne de compte pour un personnel, qui risque sa vie le jour où le bâtiment reçoit son utilisation vraie.

Combien, d'autre part, avons-nous sur nos bâtiments d'installations compliquées, d'appareils ingénieux, qui ne résisteront pas à quelques minutes de combat, et qu'il faudra remplacer par des moyens de fortune improvisés sous le feu de l'ennemi ! C'est encore un mal sur lequel tout le monde est d'accord dans la marine Française ; mais tout le monde est également complice pour le développer chaque jour. Toutes ces superstructures, toutes ces élégantes

installations, tous ces délicats appareils, que seront-ils devenus après quelques rafales de mitraille ?

Souvenons-nous donc que bien naviguer, pour un navire de guerre, est, en quelque sorte, secondaire : ce n'est qu'un moyen. Le but unique du bâtiment de combat est de se battre. Telle est la vraie leçon de Tsoushima.



DE LA DIVERSITÉ DES CALIBRES

DES PIÈCES DE MARINE,

PAR M. PAUL CLOAREC,

Directeur de la Ligue Maritime Française.

Dans son rapport sur le budget de la Marine de 1905, M. Charles Bos signalait en ces termes la multiplicité des calibres : « A bord de nos bateaux ou dans les magasins de nos ports militaires, on trouve des pièces de 420^{mm}, de 370^{mm}, de 340^{mm}, de 305^{mm}, de 274^{mm}, de 240^{mm}, de 194^{mm}, de 164^{mm}, de 138^{mm}, de 100^{mm}, de 65^{mm}, de 47^{mm} et de 37^{mm}. Mais ce n'est pas tout : chacun de ces types a des modèles différents au nombre de trois ou quatre, et pour les projectiles il en est de même. Chaque modèle de chacun des types de canon possède ses approvisionnements d'obus. On voit ainsi en magasin et sur les quais des montagnes de projectiles, dont beaucoup sont inutilisables : un grand nombre des pièces construites à Ruelle sont démodées et hors d'usage, et leurs projectiles, souvent, le sont aussi, car il n'est pas toujours vrai de dire que nos nouveaux modèles peuvent tirer les obus de ceux qu'ils ont remplacés. . . . De plus, l'artillerie de nos bâtiments est dépareillée. On conçoit dès lors les difficultés que les ports ont à les approvisionner. Et que se passerait-il en temps de guerre, s'il était nécessaire de porter des munitions à une escadre croisant au large ? A quelles erreurs ne serait-on pas exposé ? »

Dans son rapport sur le budget de 1906, M. Charles Bos renouvelle ses observations, mais il constate que la Direction d'Artillerie lui a donné en partie satisfaction : c'est ainsi que deux calibres seulement sont prévus pour les cuirassés du programme nouveau, 305^{mm} et 240^{mm}. L'artillerie moyenne est condamnée sur les bâtiments de combat. (Nous reviendrons plus loin sur les raisons de cette suppression.) On n'emploiera plus qu'un obus, en acier coiffé et chargé d'explosifs, au lieu des obus de rupture, de demi-rupture, en fonte, en acier avec poudre noire, etc. Enfin, on doit remplacer la petite

artillerie de 37^{mm}, 47^{mm} et 65^{mm} jugée insuffisante, par un 75^{mm} lançant un obus de 6^{kg}, 400.

Les pièces actuellement en service sur nos bâtiments sont : pour la grosse artillerie 305^{mm}; 274^{mm}, 4, 240^{mm} et 194^{mm}. La moyenne artillerie comprend du 164^{mm}, 7, du 138^{mm}, 6 et du 100^{mm}. Enfin, nos pièces de petite artillerie sont de 65^{mm}, 47^{mm} et de 37^{mm}.

Condamnation de l'artillerie moyenne. — La Direction de l'Artillerie de Marine dit que, si l'on considère comme limite de la distance efficace celle à laquelle le projectile est encore capable de perforer une épaisseur d'acier cimenté égale à son calibre sous l'incidence de 30°, le projectile de 164^{mm}, 7 n'est efficace que jusqu'à 3000^m. *Ce calibre ne saurait donc plus suffire dans la lutte de navire à navire.* Il convient d'ajouter qu'actuellement la vitesse du tir atteint, au plus, trois coups par minute.

D'un autre côté, M. Charles Bos s'appuyant sur les enseignements de la guerre Russo-Japonaise, particulièrement du combat de Tsoushima, dit que, dès les premières minutes du combat, les ponts des navires Russes furent balayés par un ouragan de fer, les morts et blessés tombèrent par centaines, les superstructures furent détruites; toutes ces catastrophes, toutes ces avaries ont été causées, dit-il, dans le tir à grande distance, par les obus de 305^{mm} et de 254^{mm}. Il en conclut l'inutilité de l'artillerie de moyen calibre, et propose un seul gros calibre, le 274^{mm}, 4 avec projectiles lourds.

Les canons de 164^{mm}, et même de 194^{mm} sont désormais considérés, à tort ou à raison, comme insuffisants pour perforer les blindages des hauts, et le mouvement vers un seul calibre s'accroît de jour en jour : les Américains mettent huit 305^{mm} sur le *South-Carolina*, les Anglais dix sur le *Dreadnought*, les Allemands renchérissent avec quatorze sur les cuirassés en projet de la classe S; enfin, en France, M. Charles Bos demande pour les nouveaux cuirassés seize canons de 274^{mm} nouveau modèle remplaçant le 305^{mm}; le projet ministériel comporte pour ces navires quatre 305^{mm} et douze 240^{mm}.

On remarquera que les Anglais, les Américains et les Allemands ont choisi le plus gros calibre, et il semble bien, en effet, qu'un bâtiment qui n'aurait que du 274^{mm}, 4 serait en état d'infériorité; car il est certain que le 305^{mm} resterait efficace à une distance, à laquelle le 274^{mm}, 4 de la même année de construction serait impuissant.

Réhabilitation de l'artillerie moyenne. — D'après les renseignements plus détaillés que nous possédons aujourd'hui sur la bataille de Tsoushima, et d'après les dires du Commandant Clado, de l'Amiral Rodjestvensky et des officiers Russes, il semblerait que c'est, au contraire, l'artillerie moyenne qui désorganisa les navires Russes : une grêle de projectiles détruisit tout, et produisit des incendies sur plusieurs points. C'est seulement à ce moment que commença le tir des gros canons.

En réponse à l'argumentation de notre Direction d'Artillerie, on peut répondre que l'artillerie moyenne, par sa rapidité de tir, conséquence de sa facilité de chargement, donne une densité de feu très grande, c'est-à-dire une pluie de fer et de flammes tombant sur le navire ennemi pour y jeter le désordre, sinon l'affolement.

M. le capitaine de frégate Daveluy, dans son remarquable ouvrage sur la guerre récente, fait remarquer avec raison que l'efficacité du tir dépend non seulement du nombre de coups qui touchent, mais surtout du temps pendant lequel ces coups ont été tirés. Or, l'artillerie moyenne aura toujours un tir plus rapide que la grosse artillerie.

C'est aussi l'avis de plusieurs officiers Japonais, que l'on doit mettre de l'artillerie moyenne sur les cuirassés.

Il semble donc qu'il conviendrait de ne pas se laisser trop séduire par la formule : un seul calibre, un seul projectile, et de ne pas proscrire une artillerie, qui, si elle ne peut couler l'ennemi, peut cependant le désarmer au point de le rendre impuissant et de l'annihiler.

A la suite de la guerre Hispano-Américaine, on avait assez généralement conclu à la supériorité de l'artillerie moyenne. La guerre Russo-Japonaise paraît avoir modifié les idées de la plupart des puissances, qui mettent des gros calibres en plus grand nombre possible sur leurs cuirassés.

En réalité, dans les deux cas, la victoire fut due à la préparation antérieure ainsi qu'à l'entraînement des équipages, bien plus qu'à tel ou tel type de canon. Il en sera vraisemblablement toujours ainsi.

Le facteur moral joue le premier rôle dans les guerres navales, aussi bien d'ailleurs que dans les guerres terrestres. Le but principal est donc de démoraliser l'adversaire; ce but ne peut être atteint que par l'intensité du feu, qui elle-même ne peut être obtenue que par le combat rapproché. Toujours, le chef qui a le plus de confiance dans le moral de ses hommes cherchera le combat rapproché, et il y parviendra toujours, même s'il a une vitesse inférieure.

Ne sera-ce pas l'artillerie moyenne qui jouera le rôle principal?

Petite artillerie. — Notre petite artillerie (37^{mm}, 47^{mm} et 65^{mm}) paraît trop faible. En effet, les nouvelles torpilles de 450^{mm} peuvent être lancées à une distance de 1700^m à 1800^m avec chance d'atteindre un cuirassé, et l'on parle de distances encore plus grandes pour les torpilles actuellement en essai. Il est donc nécessaire que l'on puisse arrêter un torpilleur ou un contre-torpilleur avant qu'il se soit approché à cette distance; pour cela il faut que l'on ait ouvert le feu d'une façon efficace à une distance notablement supérieure. En outre, les nouveaux torpilleurs ont leurs parties vitales protégées : le pont est formé d'une tôle de 9^{mm}, et le bordé latéral d'une tôle de 24^{mm} en nickel-acier. Dans ces conditions, nos pièces de 37^{mm} et de 47^{mm} seraient absolument inefficaces; le 65^{mm} modèle 1902, qui est à l'étude, donnerait de meilleurs

résultats, mais le Comité technique estime qu'il y aurait avantage à adopter de suite un calibre similaire à celui des autres puissances maritimes. Le calibre 75^{mm} paraît le plus fort qu'il soit possible de pointer à l'épaule. Or, ce mode de pointage paraît indispensable pour changer rapidement d'objectif. Le projectile de cette pièce pèsera 6^{kg},400, et sa vitesse de tir sera de 15 coups à la minute.

M. Charles Bos préférerait un canon de 100^{mm} à tir rapide. Les Anglais mettront sur le *Dreadnought* un nouveau canon T. R., dont le projectile pèse 8^{kg},164, ce qui correspond à un calibre de 85^{mm} environ. Les Allemands ont adopté le calibre 86^{mm}, les Anglais et les Américains ont du 76^{mm} en service. Les cuirassés Français projetés seraient armés de 16 pièces de 75^{mm}, et de 8 de 47^{mm}. Cette dualité de calibre offre évidemment des inconvénients, et il serait désirable de l'éviter.

Il serait, d'autre part, nécessaire de s'assurer que le calibre adopté répond bien aux conditions usuelles de la lutte contre les torpilleurs. Les Japonais adopteraient, dit-on, le calibre de 120^{mm} pour leurs nouveaux navires. Il est certain que les projets Japonais sont aujourd'hui parmi les plus intéressants à étudier, puisqu'ils résultent de l'expérience acquise dans deux guerres successives.

Dans ces conditions, ne serait-il pas possible d'arriver à un maximum de simplification en adoptant le calibre de 100^{mm}, auquel on affecterait deux espèces de projectiles : l'un destiné à combattre les torpilleurs, l'autre, plus lourd, destiné à jouer le rôle réservé jusqu'ici aux projectiles de l'artillerie moyenne? Des expériences pourraient seules déterminer si ce projectile lourd de 100^{mm} est capable de jouer ce rôle au double point de vue de la portée et de la puissance destructive.

Nous arriverions alors à conclure que l'artillerie des cuirassés doit se composer de canons de 305^{mm} au nombre de 8 ou 10, et de canons de 100^{mm}.

Si désirable que soit la simplification du matériel, ce n'est qu'avec les plus extrêmes réserves que nous oserions préconiser cette solution.

Artillerie des croiseurs-cuirassés. — Par une décision récente, les croiseurs en construction *Waldeck-Rousseau* et *Edgar-Quinet* recevront 14 canons de 194^{mm}, au lieu de 4 de 194^{mm} et 16 de 164^{mm},7. Il n'est pas douteux que l'unité de calibre donne un grand avantage au point de vue des facilités d'approvisionnement. Mais cet avantage n'est pas le seul : la perforation du 164^{mm},7 est de 255^{mm} d'acier cimenté à la distance de 2000^m; à la même distance, le projectile du canon de 194^{mm} modèle 1903 perce 340^{mm} d'acier harveyé. A 6000^m le premier perce 103^{mm}, le second 178^{mm}. La totalité de l'artillerie de ces croiseurs pourra donc attaquer à 6000^m la cuirasse de tous les croiseurs à flot, et même celle de certains cuirassés, notamment celle du type *Canopus*.

Mais, avant de pouvoir émettre une opinion raisonnée sur l'armement de

ces navires, il serait nécessaire de déterminer exactement le rôle qu'on leur destine. S'ils doivent affronter la lutte avec les cuirassés, on peut se demander quel effet produiront ces canons déclarés insuffisants sur ces mêmes cuirassés. Devront-ils seulement se battre avec leurs similaires? Alors ne constituent-ils pas un engin bien coûteux? Doivent-ils courir sus aux navires de commerce? Alors leur artillerie est beaucoup trop puissante, et leur protection est trop forte.

La discussion de ces points nous entraînerait hors du sujet, car elle mène à la discussion des types de bâtiments, tandis que nous avons voulu restreindre notre exposé à celle des calibres des pièces. On le voit, les deux questions sont connexes. Nous devons donc nous borner aujourd'hui à parler des seuls cuirassés, dont l'utilité n'est plus discutée, et ce serait déjà beaucoup de réussir à fixer les idées sur l'armement désirable pour le noyau essentiel des armées navales.

LE FEU EN VASE CLOS,

PAR M. L'ABBÉ NOGUIER DE MALIJAY.

La quantité de chaleur que dégagent des corps exothermiques en se combinant entre eux est exactement la même que celle qu'ils absorbent en se décomposant, les états initiaux et finals étant, bien entendu, identiques.

Dans ces conditions, il serait absurde de prétendre pouvoir produire cette dernière réaction au moyen de la chaleur dégagée par la première, c'est-à-dire utiliser la chaleur de formation exothermique pour produire la décomposition endothermique.

Mais si, dans ces réactions, on fait intervenir l'action d'un corps endothermique, l'absurde disparaît, et il n'est pas inutile qu'on étudie de près la possibilité de produire, par de tels moyens, certains phénomènes qui semblent à première vue paradoxaux. Ensuite, il importe de savoir si cette récupération de chaleur provoquée par l'intervention du corps endothermique, dans le cas ci-dessus, est suffisante pour compenser les pertes de calorique, inévitables dans la pratique, au point d'assurer à ces réactions réciproques une certaine continuité.

Ce dernier fait nous paraît peu probable. L'exemple que nous allons citer confirme amplement cette manière de voir, basée du reste sur les principes actuellement connus de la thermochimie.

Il y a quelque trois ans environ, un grand journal parisien annonçait que de mystérieux essais d'un bateau sous-marin, où un foyer de chaudière à vapeur était, disait-il, entretenu en vase clos, venaient d'être faits à Paris, dans le plus grand secret.

Un peu plus tard, et précisément au mois de mars 1904, vers le milieu du Ministère Pelletan, il fut question de deux inventeurs Belges, qui auraient été autorisés à expérimenter, à Cherbourg, sur un submersible Français, une merveilleuse invention, devant permettre l'emploi de la machine à vapeur à une certaine profondeur sous l'eau. Mais on ajoutait que lesdits inventeurs étaient tout simplement deux espions, qui, dans l'espoir de pénétrer les secrets de nos sous-marins, avaient su habilement tromper l'imprudente

confiance du Ministre, en simulant vouloir céder à la France une invention en réalité chimérique. Le *Figaro* ⁽¹⁾, et, après lui, nombre de journaux de Paris, de province et de l'étranger, donnèrent à ce sujet quelques détails généralement inexacts ou incomplets.

Il serait hors de propos de refaire ici l'historique de cet incident; mais nous avons pensé que le côté technique de la mystérieuse invention pouvait présenter un certain intérêt aux membres de l'Association Technique Maritime. Cela pour plusieurs raisons : d'abord à cause de l'originalité des moyens employés, qui essayent de réaliser, sous une forme absolument inédite, croyons-nous, le cycle de réactions dont nous parlions tout à l'heure. Ensuite, parce que l'analyse des phénomènes que nous allons étudier est peut-être de nature à susciter chez les chercheurs quelques bonnes idées, susceptibles, celles-là, d'applications réelles et utiles.

Disons tout d'abord qu'on ne saurait mettre en doute, dans les faits rappelés ci-dessus, l'honorabilité des inventeurs en question, pas plus que leur absolue bonne foi au sujet de leur invention, toute chimérique qu'elle fût. Leurs essais de Cherbourg, qui eurent lieu en effet, n'ont pas réussi, tout simplement parce qu'ils ne pouvaient pas réussir.

Ayant été plusieurs fois témoin du fonctionnement, en réalité factice, d'un petit sous-marin, construit à Liège en 1903, sous-marin qui fut le point de départ des expériences exécutées par la suite, à Cherbourg, aux frais de la Marine Française, ayant dès lors compris le mécanisme du minuscule engin, nous avions nous-même prévu et annoncé d'avance, mais, hélas ! inutilement, un résultat final négatif. On va voir qu'il ne fallait pas être grand prophète pour cela.

Le problème du feu entretenu en vase clos comprend naturellement deux parties bien distinctes : 1° l'alimentation du foyer par les éléments de la combustion; 2° l'absorption des résidus de la combustion.

Toute combustion, chacun le sait, est produite par la combinaison d'au moins deux corps : un combustible et un comburant. Le combustible peut être solide, liquide ou gazeux. Le comburant, qui doit en quelque sorte envelopper le combustible, et lui servir d'atmosphère, est nécessairement à l'état aériforme. Ce dernier est, dans la généralité des cas, l'air atmosphérique. Or, l'oxygène pur étant un comburant beaucoup plus énergique que l'air, et, d'autre part, l'hydrogène étant le meilleur des combustibles, on a pensé pouvoir résoudre la première partie du problème du *feu en vase clos*, c'est-à-dire l'alimentation du foyer, par la dissociation de l'eau, qui est composée de deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène, et dont on avait, dans le cas du sous-marin, une provision inépuisable autour de soi.

Les auteurs de cette idée, nos inventeurs Belges, ont sans doute été ins-

(1) Voir le *Figaro*, numéro du 28 mars 1904.

pirés par les tentatives que firent jadis certains industriels, qui espéraient augmenter le rendement de leurs machines à vapeur par la dissociation de la vapeur d'eau injectée au-dessus et au-dessous de la grille du foyer. Erreur absolue, puisque la chaleur absorbée par la dissociation de la vapeur d'eau est exactement égale à celle qui est dégagée par la combustion de l'hydrogène mis en liberté. Si l'injecteur de vapeur donne quelquefois des résultats satisfaisants, c'est en augmentant le tirage, ou bien en favorisant le mélange des gaz combustibles et comburants.

Quant à la seconde partie du problème, l'absorption des résidus de la combustion, faute de moyens pour la résoudre chimiquement, on a tout simplement cherché à entraîner violemment ces gaz résidus, moyennant une disposition spéciale leur donnant une vitesse suffisante, pour leur faire vaincre la pression extérieure (l'eau environnante), et pour produire en même temps un tirage énergique.

Voici maintenant la disposition qu'on avait adoptée dans le petit sous-marin, afin d'y appliquer les deux idées ci-dessus énoncées.

La figure 1 a été exécutée d'après une photographie du minuscule engin,

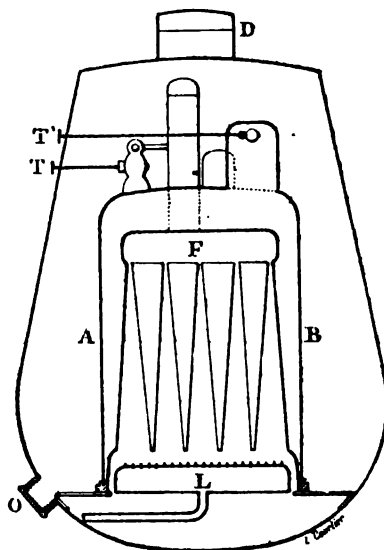
Fig. 1.

lequel déplaçait 50^l, et était construit en tôle d'acier. La figure 2 représente sa coupe verticale à la partie médiane, perpendiculairement à l'axe longitudinal, partie occupée par la chambre de la machine (chaudières et organes moteurs). Cette chambre était munie de deux ouvertures, une supérieure, dont l'obturateur formait un dôme D au-dessus du bateau; l'autre inférieure O, qu'un bouchon à vis obstruait également au moment de la mise à l'eau.

Malgré ses petites dimensions, la chaudière verticale (voir la figure sché-

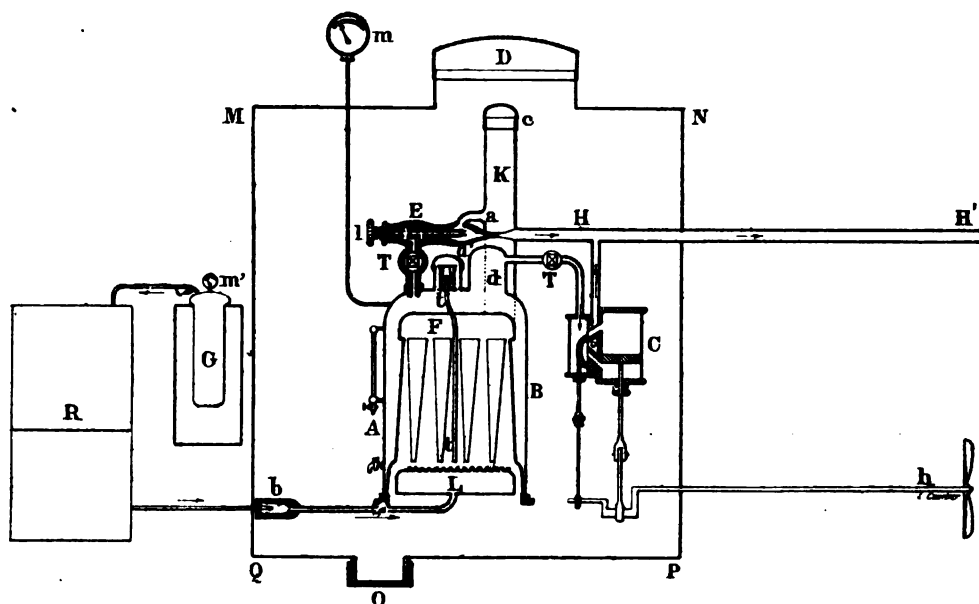
matique 3) était à tubes de fumée coniques, se rétrécissant de bas en haut,

Fig. 2.



pour donner au foyer placé au-dessous un tirage plus actif.

Fig. 3.



A la chambre à fumée F, comme le montrent la figure 2 et le schéma 3, aboutissait la cheminée K, qui ne servait que pour la mise en pression de

la chaudière, à l'air libre, le dôme D étant ouvert. Sur la paroi de ladite cheminée, en *a*, s'ouvrait un tube relié à un éjecteur E, du type Koerting communiquant avec la partie supérieure de la chaudière par le moyen de la clé T. Celle-ci était commandée par une poignée appliquée sur le flanc extérieur du petit bateau.

La chaudière étant en pression, et la position de la lance I de l'éjecteur convenablement régie, il suffisait d'ouvrir la clé T, pour entraîner violemment les fumées par le tube H', qui allait sortir à l'arrière du bateau. Dans ces conditions, la cheminée n'était plus qu'un simple prolongement de la boîte à fumée, et pouvait être obstruée par un chapeau *c*, que l'on introduisait par l'ouverture du dôme D, avant l'immersion.

Tel était l'appareil, qui résolvait, fort imparfaitement du reste, la seconde partie du problème du feu en vase clos, relative aux résidus de la combustion.

Nous disons *fort imparfaitement*, car si, d'une part, le tirage obtenu par l'éjecteur Koerting était suffisant pour produire les phénomènes de combustion que nous allons voir, et rejeter au dehors, malgré la pression extérieure de l'eau environnante (pression qui n'était, en vérité, dans les expériences réalisées, que de quelques centimètres pour une tension de la chaudière de 4^{ks} à 5^{ks}), il n'y avait, d'autre part, aucune absorption des résidus. Par suite, si l'invention avait été applicable en grand, l'énorme quantité de fumée d'un foyer de plusieurs centaines de chevaux eût été certainement visible à de grandes distances, même en divisant le jet de sortie sur toute la longueur du bateau. Il eût été impossible, dans ces conditions, de cacher la marche du *sous-marin à vapeur*.

Voyons maintenant la partie de l'appareil relative au foyer. C'est certainement la plus intéressante.

Le foyer était constitué par une boîte cylindrique plate, dont la partie supérieure était percée d'un grand nombre de petits trous, et dans le fond de laquelle aboutissait le tube adducteur du gaz combustible. Celui-ci était l'acétylène, et provenait, à la pression de 2^{ks} ou 3^{ks}, d'un double réservoir occupant l'avant et l'arrière du bateau, réservoir qu'alimentait un générateur chargé de carbure de calcium et d'eau.

Dans la première phase de l'opération, c'est-à-dire pendant la mise en pression de la chaudière, qui avait lieu à l'air libre, ainsi que nous l'avons déjà dit, le gaz acétylène se mélangeait, par le moyen d'un brûleur *b*, à l'air atmosphérique, qui pénétrait librement dans la chambre de la machine par les deux ouvertures D et O, et qui, par suite, entourait également tout le foyer.

Aussitôt que la chaudière avait atteint une pression suffisante, un jet de vapeur soulevant un petit clapet, qui, à l'intérieur du dôme *d'*, obstruait, par le moyen d'un ressort, l'extrémité du tube *tt'*, était projeté au-dessus du foyer et dans l'atmosphère de la chambre. C'est cette quantité de vapeur surchauffée par son passage au milieu des gaz du foyer (et d'autant plus abon-

dante que la pression était plus élevée), qui, en se dissociant, fournissait à la combustion le comburant oxygène en substitution de l'air atmosphérique supprimé par la fermeture des orifices D et O.

On sait, en effet, que, vers la température de 1000° C., la vapeur d'eau se dissocie en hydrogène et oxygène dans les proportions de deux volumes du premier pour un volume du second, ainsi que l'indique la formule du composé H^2O .

De fait, le petit sous-marin, mis à l'eau dans ces conditions, évoluait pendant 10 à 12 minutes sans aucune communication avec l'atmosphère, et les inventeurs prétendaient que la faible durée de son fonctionnement n'était due qu'à l'épuisement de l'eau de la chaudière, non pourvue d'une alimentation automatique, ce qui, pour de telles expériences, était à coup sûr une bien grave omission.

Nous entrons maintenant dans le vif de la question, et il nous faut examiner : 1° si la dissociation de H^2O pouvait effectivement se produire dans l'appareil dont nous venons de donner la description, et dans les conditions indiquées; 2° quels étaient les phénomènes chimiques qui avaient lieu entre les corps en présence : acétylène et vapeur d'eau dissociée ou non, au moment de la substitution de la vapeur à l'air atmosphérique; 3° s'il était possible d'entretenir les réactions indéfiniment, en supposant constantes les provisions d'eau et d'acétylène, de manière à produire un équilibre dynamique entre les calories produites et les calories dépensées.

Aux premier et deuxième points, nous sommes en mesure de répondre catégoriquement, à la suite d'expériences que nous avons pu réaliser. Ces expériences nous ont permis de constater le fait de la dissociation, qui a lieu assez régulièrement dans la première phase de l'opération, ainsi que la présence, dans les résidus expulsés, d'une certaine quantité d'acétylène non décomposé, d'hydrogène libre, d'acide carbonique et de carbone à l'état de noir de fumée, le tout mélangé à la vapeur d'eau provenant en grande partie de l'éjecteur. Selon la marche de l'opération, les réactions sont sans doute plus ou moins compliquées.

En tous cas, nous avons pu nous rendre compte que le phénomène du *feu en vase clos* est en somme, dans les conditions de l'appareil décrit ci-dessus, réalisable, du moins momentanément, et plus ou moins imparfaitement.

Quant à sa continuité — qui est le fait capital, puisqu'il constitue en réalité le côté pratique de la question — l'expérience nous permet d'affirmer qu'elle est purement illusoire. Les considérations théoriques le faisaient du reste prévoir, et de plus elles montrent qu'il est fort peu probable qu'on puisse jamais, par n'importe quel autre dispositif analogue à celui que nous avons décrit, arriver à résoudre convenablement le problème qui nous occupe.

Les lois de la thermochimie vont nous permettre de faire ces constatations, en nous montrant que, même en admettant des provisions inépuisables d'acétylène pour le foyer et d'eau pour la chaudière, le fonctionnement du

petit sous-marin ne pouvait être que de très courte durée. De fait, dans les expériences de Liège, répétées ensuite à Paris, cette durée n'était que de 10 à 12 minutes, ainsi qu'il a déjà été dit. Il ne pouvait en être autrement.

Notons ici que le fait de cette très courte durée, absolument insuffisante pour permettre une appréciation quelconque, et surtout les indications du manomètre qu'il était facile de suivre, le cadran dépassant le niveau de l'eau, auraient dû ouvrir les yeux à ceux qui furent chargés par la Marine Française de suivre ces expériences et d'en apprécier la valeur... Ils auraient ainsi évité à eux-mêmes une perte de temps, et de cruels déboires aux pauvres inventeurs.

Rappelons d'abord qu'au moment de la mise à l'eau du petit modèle de sous-marin, où l'on avait appliqué le système d'appareils décrits précédemment, la pression de la chaudière, *obtenue avec l'air atmosphérique*, était de 4^{kg} à 5^{kg}.

Ceci posé, nous discuterons le troisième et dernier point de la question que nous avons établie, en partant de la réaction principale, qui nous a paru la plus probable.

Deux cas peuvent se présenter au moment où l'on remplace l'air par la vapeur d'eau :

1° La température de l'appareil est suffisante pour que la vapeur d'eau de la chaudière possède une tension de dissociation;

2° La température est insuffisante pour produire la dissociation de l'eau.

Dans le premier cas, l'eau étant en dissociation, nous avons H et O rendus libres par une cause étrangère à la réaction (la température du foyer produite par la combustion à l'air libre). Nous n'avons donc pas à faire intervenir la chaleur de formation de H²O dans l'équation que nous allons poser avec les trois corps gazeux que nous avons en présence, l'acétylène, l'oxygène et l'hydrogène



Il y a donc décomposition d'acétylène d'une part, et formation d'acide carbonique d'autre part.

Or, nous savons, d'après les données de la thermochimie, que la chaleur de *décomposition* (soit la chaleur de formation changée de signe) de C²H² est 58^{cal},1, et la chaleur de *formation* de CO² (à partir de C amorphe) est de 97^{cal},6.

Nous avons donc

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ C}^2\text{H}^2 \text{ décomposé dégage} & \dots\dots\dots & 1 \times 58^{\text{cal}},1 = 58,1 \\ 2 \text{ CO}^2 \text{ formé dégage} & \dots\dots\dots & 2 \times 97^{\text{cal}},6 = 195,2 \\ \text{Soit, au total} & \dots\dots\dots & \underline{253,3} \end{array}$$

pour la chaleur dégagée par l'action de 4 O sur 1 C²H², d'après l'équation (1).

C'est de ces 253^{cal},3 que nous pourrions disposer pour continuer à chauffer la chaudière, après la suppression de l'air atmosphérique.

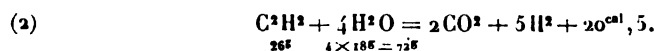
Ce nombre est sensiblement inférieur à celui donné par la combustion à l'air libre qui est de 315^{cal},7.

Dans ces conditions la température va s'abaisser, mais lentement, car le dégagement de chaleur produite y est encore très notable. Elle baissera ainsi jusqu'à une valeur à laquelle l'eau ne sera plus dissociée. Cela nous amène au second des cas énoncés ci-dessus.

A partir de ce moment, il est très facile de montrer que la réaction s'arrêtera rapidement, car elle consommerait plus de vapeur, que la chaleur dégagée n'est apte à en produire.

Il nous faut maintenant, en effet, prendre sur nos 253^{cal},3 la quantité nécessaire à la décomposition de H²O, et, comme la formation de 1 H²O dégage 58^{cal},2, la décomposition de 4 H²O absorbera $4 \times 58^{\text{cal}},2 = 232^{\text{cal}},8$, et il ne nous restera plus disponibles que 253^{cal},3 — 232^{cal},8 = 20^{cal},5.

On a alors



Mais si

$$\begin{array}{ll} 26^{\text{f}} \text{ d'acétylène donnent} & 20^{\text{cal}},5, \\ 1^{\text{f}} \text{ » } & \text{donnera} \dots \frac{20^{\text{cal}},5}{26}, \\ 1^{\text{kg}} \text{ » } & \text{donnera} \dots \frac{20^{\text{cal}},5 \times 1000}{26} = 788^{\text{cal}},46, \end{array}$$

soit 800^{cal} en chiffre rond.

Admettons que la température de la chaudière soit 150° (ce qui correspond à une pression de la vapeur entre 4^{atm} et 5^{atm}), la *chaleur latente de vaporisation* de l'eau étant

$$\lambda = 606,5 - 0,695t,$$

sera dans notre cas

$$606,50 - 104,25 = 502^{\text{cal}},25.$$

Nous trouvons donc que pour vaporiser à 150° 1^{kg} d'eau, il faudra lui fournir 502^{cal},25. Notre kilogramme de C²H² qui fournit 800^{cal}, pourra par conséquent vaporiser $\frac{800}{502} =$ environ 1^{kg},600 d'eau.

D'autre part, nous avons vu que

$$\begin{array}{l} 26^{\text{f}} \text{ C}^2\text{H}^2 \text{ exigeaient } 4 \times 18 = 72^{\text{f}} \text{ de vapeur [réaction (2)],} \\ 1^{\text{kg}} \text{ C}^2\text{H}^2 \text{ nécessite donc } \frac{72 \times 1000}{26} = \text{environ } 2800^{\text{f}} \text{ de vapeur.} \end{array}$$

Nous voyons donc que notre kilogramme d'acétylène, apte à fournir seule-

ment 1^{kg},600 de vapeur, en exige 2^{kg},800 rien que pour entretenir la réaction. Dans ces conditions celle-ci cessera très rapidement.

Et cependant 1^{kg},600 est un chiffre théorique, très exagéré, car nous n'avons pas tenu compte des pertes de chaleur par conductibilité ou par rayonnement, pas plus que de la dépense d'énergie pour le mouvement de la petite hélice, et de la chaleur entraînée par les gaz sortant de l'appareil.

Tout cela montre bien que le phénomène du feu en vase clos ne peut être continu dans les conditions du petit sous-marin construit à Liège, mais ne prouve pas cependant qu'il ne puisse être réalisé par d'autres moyens.

Quant aux appareils appliqués au submersible le *Triton* en rade de Cherbourg (avril 1903), ils furent établis sinon sur le modèle, du moins d'après les mêmes idées qui avaient servi à la construction du petit sous-marin. L'inventeur et son aide les abandonnèrent sur place après l'inévitable échec de leur naïve et imprudente expérience.

Nous disons : *naïve*, car à l'empirisme qui avait seul présidé à la construction du petit modèle, il était élémentaire, avant de s'engager plus avant, de faire succéder une étude technique approfondie de la question; *imprudente*, car les inventeurs, qui n'avaient même pas songé à l'élévation énorme de température que le foyer du bateau, entouré d'eau de toutes parts, et sans aucune communication avec l'atmosphère, devait nécessairement produire à l'intérieur, faillirent être étouffés par une chaleur de plus de 60°C., et ne durent leur salut qu'à la manœuvre rapide des marins du *Triton*, qui firent remonter à temps leur submersible à la surface.

Fig. 4.

Voici du reste une description sommaire de ces inoffensifs engins.

La figure 4 est une coupe partiellement schématique de l'éjecteur Koerting,

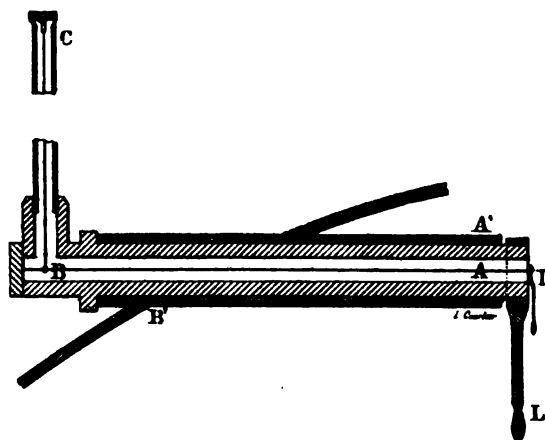
à plusieurs lances. Cet appareil, en fonte et bronze, fut boulonné sur la cheminée du submersible par le plateau HH', et mis en communication avec la chaudière par le tube BC.

Un levier L ouvrait en même temps l'arrivée de vapeur par le robinet R, et l'échappement E que fermait en A la platine glissante PP'.

Les fumées devaient alors être entraînées en D avec la vapeur, et refouler l'eau environnante dans le tube AE, qui traversait la coque du bateau.

La figure 5 est une pièce composée d'un gros tube métallique ABC formant un angle droit, lequel tube était, dans l'esprit de l'inventeur, destiné à ali-

Fig. 5.



menter d'air atmosphérique la chambre de la machine au moment de la mise en pression. La partie horizontale AB de ce tube avait environ 80^{cm} de long, 9^{cm} à 10^{cm} de diamètre extérieurement, 6^{cm} ou 7^{cm} intérieurement. Par le moyen d'un levier L, qui commandait une de ses extrémités située à l'intérieur du bateau, il pouvait tourner à frottement dur dans une gaine métallique A'B', traversant obliquement la coque de celui-ci. La partie extérieure BC, longue de 3^m environ, pouvait ainsi être élevée jusqu'au-dessus de la surface des eaux, ou, après la mise en pression, appliquée le long du flanc du navire, pour ne pas gêner sa marche. Enfin, un clapet appliqué à l'extrémité C pouvait être ouvert ou fermé par le moyen d'une longue tige traversant le tube d'un bout à l'autre, et d'un second levier / concentrique au premier.

Inutile d'ajouter que de tels appareils n'étaient pas susceptibles de fonctionner un seul instant. Car, par suite des grandes surfaces, les pertes de calorique par conductibilité et par rayonnement, beaucoup plus considérables ici, toutes proportions gardées, que dans le petit modèle de sous-marin, n'auraient probablement pas permis de maintenir la température de dissociation, si toutefois il eût été possible de l'atteindre, ce qui est fort douteux.

Ceci prouve, une fois de plus, que, s'il est possible avec de l'habileté et à force de tâtonnement et de patience, comme c'est ici le cas, de *simuler*, pour un temps plus ou moins court, certains phénomènes contraires aux lois de la nature, il est chimérique de prétendre faire *mentir* les immuables lois de la transformation des énergies aussi bien chimiques que physiques et mécaniques.





FORMULES RELATIVES

A

L'ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR D'EAU,

PAR M. DOYÈRE,

Ingénieur en chef du Génie maritime.

Quand un fluide quelconque s'écoule entre deux enceintes, où les pressions sont P et p , le travail accompli par le kilogramme de ce fluide est exprimé en kilogrammètres par

$$(1) \quad t = \frac{V^2}{2g} = 10\,000 \int_p^P v \, dp,$$

V étant la vitesse d'écoulement en mètres par seconde, v le volume du kilogramme de fluide en mètres cubes, et p la pression en kilogrammes par centimètre carré.

Si nous appelons ϖ le poids en kilogrammes du mètre cube de fluide à la pression p , ceci devient :

$$(2) \quad t = \frac{V^2}{2g} = 10\,000 \int_p^P \frac{dp}{\varpi}.$$

On tire de là l'expression de la vitesse d'écoulement :

$$(3) \quad V = 443^m \sqrt{\int_p^P \frac{dp}{\varpi}}.$$

Cette équation et les précédentes sont absolument générales; elles ne font aucune hypothèse sur la nature du fluide ni sur les conditions thermiques de l'écoulement (isothermique, adiabatique ou quelconque); c'est seulement lorsqu'il s'agira de préciser la relation entre p et ϖ que s'introduira la considération de ces circonstances particulières.

Quelle que soit cette relation, si on la suppose représentée par une courbe dont les abscisses sont p , et les ordonnées $\frac{1}{\varpi}$, l'intégrale $\int_p^P \frac{dp}{\varpi}$ représente l'aire de cette courbe entre les abscisses p et P . Cette aire s'évalue exactement, si la relation entre p et ϖ est exprimée algébriquement sous une forme intégrable; c'est le cas de l'écoulement isothermique des gaz parfaits, pour lequel on trouve :

$$(4) \quad V = 396^m \sqrt{\frac{1 + \kappa \theta}{\delta} L \frac{P}{p}},$$

δ étant la densité du gaz par rapport à l'air.

Mais, si la relation de p à ϖ n'est pas exprimée algébriquement, on peut évaluer $\int_p^P \frac{dp}{\varpi}$ par les procédés d'intégration approximative.

Première approximation. — Dans l'hypothèse où le rapport $\frac{P}{p}$ n'est pas trop grand, une première approximation consiste à considérer ϖ comme constant entre ces limites, et égal à la valeur ϖ_m correspondant à la pression moyenne $\frac{P+p}{2}$. On a alors l'expression très simple

$$(5) \quad V = 443^m \sqrt{\frac{P-p}{\varpi_m}}.$$

On démontre que, pour les gaz parfaits se détendant isothermiquement, cette approximation revient à remplacer $L \frac{P}{p}$ par $\frac{P-p}{\frac{1}{2}(P+p)}$, et l'on a calculé que cette substitution entraîne une erreur relative qui n'atteint pas $\frac{1}{1000}$ pour $\frac{P}{p} = 1,10$, et qui reste encore inférieure à 4 pour 100 pour $\frac{P}{p} = 2$.

Il était intéressant de rechercher dans quelles limites cette formule s'appliquerait, non plus à un gaz parfait, mais à une vapeur saturée, par exemple la vapeur d'eau. On sait que, dans ce cas particulier, des études diverses, interprétées, contrôlées et condensées par M. Rateau, ont amené notre éminent collègue à la formule suivante, qui suppose l'écoulement adiabatique :

$$V = 100 \sqrt{\frac{530}{K}},$$

expression dans laquelle

$$K = 0,85 + \frac{6,95 - 0,92 \log P}{\log P - \log p}.$$

Cette expression de K a été établie par des calculs sur le diagramme entropique, « en poussant », dit M. Rateau, « l'approximation le plus possible,

en tenant compte notamment de la variation de la chaleur spécifique de l'eau avec la température ». Puis, par des mesures de débit faites avec des tuyères rectilignes de diverses formes, M. Rateau a vérifié expérimentalement ses formules, et il n'a pas trouvé d'écarts de plus de 1 pour 100 entre les résultats d'expérience et ceux du calcul, à condition de prendre les précautions voulues pour que la vapeur soit aussi sèche que possible.

Cette concordance est très remarquable.

Mais il est non moins intéressant de signaler qu'on arrive *rigoureusement* aux mêmes résultats en appliquant tout simplement à la vapeur saturée la formule (5) avec la même valeur de A :

$$V = 443^m \sqrt{\frac{P - p}{\varpi_m}},$$

ϖ_m étant, comme il a été dit ci-dessus, le poids du mètre cube de fluide à la pression $\frac{P + p}{2}$: cette approximation suppose toutefois que $\frac{P}{p}$ ne dépasse pas 2.

Voici, à titre de vérification, pour un certain nombre de cas très différents, les résultats donnés, d'une part par la formule (5), d'autre part par celles de M. Rateau :

	Cas									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
pression d'amont P.....	15 ^{kg}	15 ^{kg}	15 ^{kg}	10 ^{kg}	10 ^{kg}	5 ^{kg}	5 ^{kg}	2 ^{kg} ,5	1 ^{kg}	0 ^{kg} ,50
pression d'aval p.....	13 ^{kg}	10 ^{kg}	8 ^{kg}	9 ^{kg}	8 ^{kg}	4 ^{kg}	3 ^{kg}	2 ^{kg}	0 ^{kg} ,60	0 ^{kg} ,30
pression moyenne $\frac{P+p}{2}$.	14 ^{kg}	12 ^{kg} ,5	11 ^{kg} ,5	9 ^{kg} ,5	9 ^{kg}	4 ^{kg} ,5	4 ^{kg}	2 ^{kg} ,25	0 ^{kg} ,80	0 ^{kg} ,40
correspondant (1).....	6,985	6,291	5,815	4,862	4,630	2,410	2,160	1,257	0,476	0,248
[d'après la formule (5)].	237 ^m	395 ^m	486 ^m	202 ^m	291 ^m	285 ^m	423 ^m	279 ^m	407 ^m	398 ^m
(d'après M. Rateau)...	236 ^m	394 ^m	487 ^m	200 ^m	290 ^m	283 ^m	425 ^m	277 ^m	406 ^m	398 ^m

Comme personne n'a la prétention d'évaluer la vitesse d'écoulement d'une vapeur à 1^m ou 2^m près, on peut dire que la concordance entre les résultats des deux méthodes de calcul est *absolument rigoureuse*.

La formule (5) paraît devoir être d'un emploi commode dans bien des cas, en particulier pour l'évaluation des vitesses dues aux cascades successives de pressions dans une turbine à roues multiples.

La même première approximation donne comme expression du travail produit par le kilogramme de vapeur :

$$(6) \quad t = 10\,000 \frac{P - p}{\varpi_m}$$

(1) Extrait de tableaux donnés par M. de Montchoisy.

et par suite, comme poids théorique de vapeur dépensé par cheval pour une machine parfaite fonctionnant entre les pressions P et p :

$$(7) \quad K = 27^{kg} \frac{\varpi_m}{P - p}.$$

Dans les limites où la formule approximative (5) est applicable, c'est-à-dire pour $\frac{P}{p} < 2$, cette expression de K donnera pratiquement les mêmes valeurs que celle de M. Rateau. Mais on s'exposerait à commettre une erreur énorme en l'étendant au delà de ces limites.

Approximations successives. — Pour des écarts de pression plus considérables, il faut évaluer l'aire de la courbe avec plusieurs ordonnées.

On a, par exemple, une seconde approximation en appliquant la méthode d'intégration de Poncelet avec deux ordonnées, c'est-à-dire en remplaçant $\frac{1}{\varpi_m}$ par $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\varpi'} + \frac{1}{\varpi''} \right)$, ϖ' et ϖ'' étant les poids spécifiques correspondant à des pressions prises au quart et aux trois quarts de l'intervalle entre p et P . Les formules (5) et (7) prennent la forme

$$(5') \quad V = 443^m \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\varpi'} + \frac{1}{\varpi''} \right) (P - p)},$$

$$(7') \quad K = \frac{27}{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\varpi'} + \frac{1}{\varpi''} \right) (P - p)},$$

et elles deviennent applicables dans des limites bien plus étendues; ainsi, entre $P = 15^{kg}$ et $p = 3^{kg}$, elles donnent

$$V = 753^m, \quad K = 9^{kg}, 38,$$

alors que les formules de M. Rateau donnent

$$V = 757^m, \quad K = 9^{kg}, 24,$$

la différence est de l'ordre des erreurs d'expérience.

Pour des chutes plus grandes, un plus grand nombre d'ordonnées s'imposerait.

Enfin, pour un calcul exact, il faudrait évaluer, d'après la relation empirique connue entre p et ϖ , l'aire de la courbe $y = \frac{1}{\varpi}$, c'est-à-dire $\int_p^P \frac{dp}{\varpi}$. Cela conduirait à tracer la courbe des valeurs de $\frac{1}{\varpi}$ en fonction de p , d'après les résultats des expériences de Regnault, puis l'intégrale de cette courbe; les ordonnées de cette intégrale étant désignées par Y , entre deux états 0 et 1, corres-

pendant aux pressions initiale et finale p_0 et p_1 , on aurait, tout simplement :

$$t = 10000^{1/8} (Y_0 - Y_1),$$

$$K = \frac{27^{1/8}}{Y_0 - Y_1},$$

$$V = 433^m \sqrt{Y_0 - Y_1}.$$

Ces formules se présentent sous une forme plus aisément utilisable que celles de M. Rateau, une fois déterminée l'échelle des valeurs de Y .

Nous nous occupons de tracer cette échelle.

A priori, nous pouvons prévoir que, pour les très fortes détente, nous devons trouver des valeurs de K plus petites que celles qui résultent des calculs de M. Rateau; ces derniers, supposant en effet la détente adiabatique, tiennent compte de l'augmentation de ϖ , qui, pour chaque pression, résulte de la proportion d'eau condensée, tandis que l'application des formules précédentes n'en tient pas compte, puisqu'elle attribue à chaque instant au kilogramme primitif de vapeur, le volume qui correspond à sa pression s'il restait à l'état de vapeur saturée sèche. Ce qui précède, et la concordance presque absolue des valeurs de K calculées par les deux méthodes dans des limites étendues de variation de $\frac{P}{p}$, montre que cette humidification de la vapeur est prati-

quement sans importance dans ces limites. C'est seulement quand on descend à de très faibles valeurs de p qu'il y a lieu d'en tenir compte.

Mais une question se pose; est-il bien inattaquable d'admettre, comme on le fait *a priori*, que l'écoulement d'un fluide par une tuyère est forcément adiabatique? Cette hypothèse s'appuie sur le raisonnement suivant formulé par M. Rateau : « Le fluide reste si peu de temps dans la tuyère, quelques dix-millièmes de seconde, qu'il ne peut céder ou recevoir une quantité de chaleur notable. » Il n'y a aucune raison pour ne pas dire aussi bien : « Le fluide reste si peu de temps dans la tuyère, qu'il n'a pas le temps de changer de température. » Car un changement de température n'est pas non plus instantané. Serait-il même plus inadmissible de dire que le fluide n'a pas le temps de changer de pression et de volume, du moins suivant les lois ordinaires, isothermiques ou adiabatiques? Poser en principe que la vitesse de l'écoulement le rend forcément adiabatique, c'est accepter *a priori* la conclusion suivante : si un gaz très chaud parcourt avec une grande vitesse une courte tuyère plongée dans un calorimètre, la substance calorimétrique, et la tuyère même ne s'échaufferont point.

Rien n'est moins évident. Nous pouvons dire en effet que, par suite de la permanence de l'écoulement, nous aurons constamment à l'intérieur de la tuyère une certaine température T , à l'extérieur une température θ .

Soient

ω la section de la tuyère à la sortie (en mètres carrés);

S sa surface latérale (en mètres carrés également);

e sont épaisseur (en centimètres);

K son coefficient de transmissibilité de chaleur, c'est-à-dire le nombre de calories qu'elle transmettrait par mètre carré, pour une épaisseur de 1^{cm} et une différence de température de 1°, en une seconde.

Il s'écoule, par seconde, un poids de fluide égal à $V\omega\varpi$. Donc le nombre de secondes n pendant lequel 1^{kg} de fluide s'écoule, c'est-à-dire reste en contact avec la tuyère, est

$$n = \frac{1}{V\omega\varpi}.$$

Pendant ce temps, la surface latérale de la tuyère laisse passer une quantité de chaleur

$$q = \frac{KS(T - \theta)}{eV\omega\varpi}.$$

Supposons la tuyère circulaire et cylindrique; soient r son rayon, l sa longueur,

$$S = 2\pi rl,$$

$$\omega = \pi r^2,$$

d'où

$$q = \frac{2Kl(T - \theta)}{erV\varpi}.$$

Par exemple, pour une tuyère de 1^{cm} de rayon et 15^{cm} de longueur,

$$q = \frac{30K(T - \theta)}{eV\varpi}.$$

Enfin, supposons $e = 0^{\text{cm}}, 5$,

$$q = \frac{60K(T - \theta)}{V\varpi}.$$

D'après les tables ordinaires, K serait égal à 2 environ pour les métaux

$$q = \frac{120(T - \theta)}{V\varpi}.$$

Appliquons ceci par exemple au cas n° 10 du tableau de la page 275. La valeur de ϖ correspondant à $p = 0^{\text{kg}}, 30$ est

$$\varpi = 0^{\text{kg}}, 191;$$

on a calculé $V = 400^{\text{m}}$ environ.

T correspondant à une moyenne entre la pression d'entrée $0^{\text{kg}}, 50$ et la pression de sortie $0^{\text{kg}}, 30$ est $T = 75^{\circ}$ environ.

Admettons que la température extérieure soit $\theta = 10^{\circ}$. Nous aurons :

$$q = \frac{120 \times 65}{400 \times 0,191} = 102^{\text{Cal}}.$$

Or, à l'entrée, à la pression de 0^{kg},50, le kilogramme de vapeur contenait :

$$q_0 = 606,5 + 0,305 \times 81 = 631^{\text{Cal}}.$$

Le rapport

$$\frac{q}{q_0} = \frac{102}{631} = 0,16$$

montre que l'écoulement est loin d'être adiabatique, bien que le fluide ne reste dans l'intérieur de la tuyère que pendant une fraction de seconde égale à

$$\frac{0,15}{400} = \frac{4}{10000}.$$

Le même calcul, appliqué pour un écoulement à haute pression, par exemple pour le cas (1) du tableau, donne :

$$q = 13^{\text{Cal}} \quad \text{pour} \quad q_0 = 666,5 \quad \frac{q}{q_0} = 0,02.$$

C'est donc surtout pour les faibles pressions que l'hypothèse de l'adiabaticisme, dans l'écoulement par une tuyère isolée, tend à devenir de plus en plus fausse.

Il en serait de même d'ailleurs, et *a fortiori* d'après ce raisonnement, de l'hypothèse de l'isothermisme.

A vrai dire les valeurs numériques de q calculées ci-dessus sont fort douteuses, à cause de l'incertitude qui règne sur la valeur de K . Mais on trouve des chiffres encore plus grands, quand on applique les formules données par M. Bertin dans ses *Cours de machines et de chaudières*,

$$q = K(T - \theta)^2 t,$$

même en donnant à K la plus petite valeur indiquée par lui $K = 0,11$, qui correspond à l'échange de chaleur entre les gaz et l'eau d'une chaudière.

Il est juste d'ajouter cependant que, même pour une tuyère isolée et non enveloppée, M. Rateau n'a pas constaté de rayonnement de chaleur appréciable, *vis-à-vis de la quantité de chaleur contenue dans le flot de vapeur qui circulait dans la tuyère*. Ceci revient à dire que, pour de pareilles vitesses d'écoulement, K serait nul ou négligeable; il serait bien intéressant, au point de vue théorique, de vérifier directement cette conclusion par des expériences au moyen de calorimètres à air, à eau, à glace.

Au point de vue pratique de l'application aux turbines, c'est d'ailleurs sans importance; car, dans les aubages fixes et mobiles d'une turbine, l'écoulement peut toujours être considéré comme sensiblement adiabatique, non pas parce que K est nul, mais *parce que les tuyères ne sont pas isolées*. Chaque roue constitue une couronne de tuyères, séparées les unes des autres par les aubes, et de part et d'autre de celles-ci règne la même température : quel

que soit donc K , $T - \theta$ est pratiquement nul, et il n'y a pas échange de chaleur.

Faut-il conclure de là que la détente s'y opère suivant les adiabatiques de la vapeur d'eau, déduites des expériences de Regnault, et considérer comme démontrées les conséquences que l'on en tire au point de vue économique?

Nous ne le croyons pas. Toute la thermodynamique, en effet, repose sur l'hypothèse de l'existence, pour chaque corps, d'une relation unique entre les trois variables p (pression), v (volume spécifique), θ (température). Or cette relation n'est déterminée que par des expériences, dans lesquelles on laisse soigneusement s'établir des états d'équilibre, expériences qu'on pourrait appeler *thermostatiques*. Mais, si l'on admet que la substance subit une évolution assez rapide pour que la vitesse des échanges calorifiques entre en jeu, ces formules sont-elles encore applicables? Ne commet-on point, en les étendant à ce cas, des erreurs analogues à celles dont on se rend coupable quand on applique sans correction à des liquides en mouvement les formules de l'hydrostatique? Ce point d'interrogation est de nature à faire naître des doutes sur la légitimité de l'application de la thermodynamique, en son état actuel, à l'étude de l'écoulement d'un gaz et d'une vapeur, et les expériences de M. Rateau ne peuvent même pas être considérées comme une justification de cette application, puisque nous voyons les résultats de ces expériences concorder, dans des limites très étendues, pour la vapeur d'eau, avec la plus grossière des formules exprimant la vitesse d'écoulement d'un gaz permanent.

NOTE SUR LA CHALEUR SPÉCIFIQUE DE L'EAU

SON ENTROPIE ET CELLE DE SA VAPEUR,

PAR M. VAN MEERTEN,

Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite.

La note *Sur la chaleur spécifique et l'entropie*, que j'ai l'honneur de présenter à l'Association, de la part de M. Van Meerten, reproduit, en le complétant, le contenu d'une correspondance entretenue avec ce savant ingénieur, à la suite de la publication de mes *Machines marines*.

Les lettres de M. Van Meerten m'ayant de suite révélé mon ignorance au sujet des études critiques, dont les expériences de Regnault ont été l'objet dans plusieurs pays, il m'a paru désirable d'en porter le contenu à la connaissance de mes confrères.

Les praticiens pourront consulter avec profit les tableaux numériques dressés par M. Van Meerten; les physiciens eux-mêmes trouveront de l'intérêt aux formules empiriques nouvelles, dans lesquelles ces tableaux sont condensés, pour le calcul des quantités de chaleur et des entropies à toutes les températures usuelles.

La définition nouvelle donnée de l'entropie à la fin de la note pourra étonner un peu les personnes non familiarisées avec l'emploi de cette nouvelle propriété des corps au point de vue de la thermodynamique. Il m'est revenu qu'un savant français, qui est en bon rang dans le bureau de notre Société de Physique, s'est également appliqué à donner à l'entropie une existence concrète. Ceci n'est point pour diminuer le mérite de M. Van Meerten et lui enlever la priorité, mais simplement pour montrer le besoin réel de sortir de la pure abstraction mathématique, qui s'est fait jour de divers côtés, et auquel M. Van Meerten a voulu répondre.

E. BERTIN.

MÉMOIRE DE M. VAN MEERTEN.

En étudiant la plus récente des publications de notre Vice-Président, M. E. Bertin, intitulée *Les machines marines*, je fus frappé de ce que l'auteur, en calculant l'entropie de l'eau et celle de sa vapeur, les déduisait de la vieille formule de Regnault pour la chaleur spécifique de l'eau, formule condamnée pour son manque d'exactitude; il s'ensuivit un échange de correspondance entre M. Bertin, moi et quelques autres personnes, laquelle se termina par une invitation d'avoir à rédiger pour l'Association un mémoire traitant de la chaleur spécifique et de l'entropie de l'eau, selon les plus récentes recherches expérimentales.

Déférant à la flatteuse invitation de notre honorable Vice-Président, j'offre à mes collègues le présent mémoire, qui, bien que plus académique que technique, pourra cependant les intéresser, en leur rappelant un homme mort après une perte tragique, il y a environ 35 ans, et dont le monde civilisé tout entier a porté le deuil.

Chacun sait que Regnault, aidé par un gouvernement éclairé, poursuivit une série de recherches, dont les résultats sont le fondement de nos connaissances en matière de chaleur et de thermodynamique. Bien qu'une foule de savants illustres, Lavoisier, Laplace, Ramsden, Dulong, Petit, Gay-Lussac, Sainte-Claire Deville, Troost, Dumas, etc. l'aient précédé, on peut dire que l'œuvre de Regnault a été en grande partie, à notre point de vue, l'œuvre d'un précurseur : en effet, les moyens d'investigation dont la science dispose à l'heure actuelle, les instruments de précision dont on peut se servir aujourd'hui, n'étaient pas à la disposition de l'illustre Directeur de la manufacture de Sèvres, physicien, chimiste et ingénieur tout à la fois. Il n'y a pas à s'étonner, qu'au cours des 40 années écoulées depuis la publication de son travail classique, la critique ait relevé des erreurs, qui cependant n'amoin- drissent en rien la grande valeur des œuvres de ce travailleur infatigable.

L'œuvre de Regnault fut critiquée pour la première fois par le savant Néerlandais J. Boscha. Celui-ci présenta, en 1870, deux mémoires à la *Koninklijke Akademie van Wetenschappen* (Académie Royale des Sciences), mémoires reproduits dans les *Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*, publiés par la *Société Hollandaise des Sciences* et dans les *Pogendorff Annalen* (Ergänzungsband V), intitulés :

- 1° *La dilatation vraie du mercure, d'après les expériences de Regnault;*
- 2° *La dilatation apparente du mercure, et la marche du thermomètre à mercure comparée à celle du thermomètre à air, d'après les expériences de Regnault.*

Les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (t. LXIX, 1869, p. 875-879) en contiennent un extrait.

Dans son premier mémoire, le Dr Boscha démontrait que la méthode suivie par Regnault pour déduire les résultats de ses expériences n'était pas en rapport avec l'exactitude de ces dernières.

La formule empirique de la dilatation du mercure était déduite de trois des trente-cinq séries d'observations, appartenant malheureusement aux moins exactes de ces séries. Pour calculer la dilatation avec la température moyenne de la série, la réduction de la hauteur de la colonne de mercure froid a été effectuée avec un coefficient emprunté à des observations anciennes, et manquant d'exactitude; de sorte que les résultats de ses observations sont mélangés à d'autres. C'est à tort que Regnault augmentait de $\frac{1}{1100}$ la hauteur mesurée de la colonne mercurielle; à la fin, il n'a plus tenu compte de la différence de marche entre le thermomètre à mercure indiquant la température de la colonne mercurielle, et le thermomètre à air.

Boscha a établi la formule suivante, déduite des résultats totalisés des trente-cinq séries d'expériences :

$$V_t = V_0 e^{\alpha t}.$$

Cette formule ne contient qu'un seul paramètre, ce qui offre le grand avantage, que chaque observation permet d'en calculer une valeur, et que l'application du calcul des probabilités en est facilitée. Avec les données à ma disposition, j'ai trouvé $\alpha = 0,0001803$ pour $t = 150^\circ$, et $\alpha = 0,0001815$ pour $t = 300^\circ$. La différence, pour un écart si notable de températures, est tellement petite, qu'elle démontre en réalité l'exactitude de la formule. Boscha a fixé la valeur de α à $0,00018077$.

Wüllner, physicien Allemand, a, à son tour, critiqué le travail de Boscha (*Poggendorf's Annalen*, Band CLIII, p. 440), parce que la formule proposée manque de base théorique, et qu'au delà de 257° les résultats sont en désaccord avec les observations, et enfin parce qu'en développant la formule en fonction des puissances de t , le coefficient de t^3 devient déjà si petit, que le terme peut être négligé; or Recknagel a démontré que seule une formule du troisième degré peut représenter la dilatation du mercure en fonction de t . M. Boscha a réfuté ces objections : la formule étant purement empirique, elle n'a à représenter correctement que les résultats des expériences, avec ou sans base théorique, et au-dessous de 257° la coïncidence de la formule et des observations est remarquable; si au delà elle diminue, cela n'est d'ailleurs pas étonnant, parce que les causes d'erreurs augmentent tellement, qu'on ne peut plus avoir confiance dans les résultats d'expériences. M. Fizeau racontait, par exemple, à M. Boscha, qu'aux températures élevées l'huile dans laquelle étaient plongés les thermomètres à mercure et à air commençait à écumer tellement, qu'elle était en émulsion du haut en bas, ce qui occasionnait de graves difficultés à M. Regnault. La dernière des objections de M. Wüllner, bien que très savante, n'a donc pas de bases sérieuses.

Dans son second mémoire, M. Boscha démontre que M. Regnault a négligé

de comparer la marche des thermomètres à mercure à celle des thermomètres à air. Ceux à mercure, en cristal de Choisy-le-Roi, qui contient jusqu'à 34 pour 100 de plomb, ont la marche la plus régulière. Mais Regnault lui-même constate des différences telles que des retards de $0^{\circ},2$ avec des températures de 50° , dans des thermomètres à mercure, et cependant il néglige ces différences. M. Boscha a calculé cette différence à 50° , et trouvé une valeur de $0^{\circ},17$. Mais les formules relatives à la marche des différents thermomètres n'ont pas été calculées par Regnault lui-même; et les aides auxquels il a confié ce calcul y ont apporté un manque de soin qui l'a trompé. M. Boscha a trouvé que, de 0° à 100° , les thermomètres en verre ordinaire indiquaient des températures supérieures, et ceux en cristal de Choisy-le-Roi, des températures inférieures à celles du thermomètre à air. Il trouve qu'en négligeant ces différences, la quantité de $636^{\text{Cal}},8$, calculée par Regnault pour porter 1^{kg} d'eau de 0° à 100° , et la vaporiser à cette température, doit être augmentée de $3^{\text{Cal}},4$, et portée à $640^{\text{Cal}},2$. Dans la séance du 10 octobre 1869, Regnault a réfuté ces critiques, en constatant que, depuis 20 ans, il faisait usage d'un verre contenant du plomb, mais en moindre quantité que le cristal de Choisy-le-Roi, lequel donnait à 50° des thermomètres ne différant que de $0^{\circ},1$, rarement de $0^{\circ},2$ avec le thermomètre à air, et qu'il faisait toujours des corrections, aussi bien entre 0° et 100° , qu'aux hautes températures (*Comptes rendus*, t. LXIX). Cette déclaration est en contradiction formelle avec ce qu'il a énoncé dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* (t. XXVI, p. 373) : « J'ai admis que les thermomètres à mercure marchaient d'accord avec le thermomètre à air depuis -20° jusqu'à $+100^{\circ}$, cela n'est pas absolument vrai... ». Mais M. Boscha a encore démontré dans une note concernant les observations de M. Regnault, reproduite dans les *Comptes rendus* (t. LXIX, p. 1185), que, d'après ses propres rapports, les thermomètres en cristal de Choisy-le-Roi avaient servi pour mesurer les températures, que leur marche était inconnue, et qu'on ignorait même si les erreurs étaient positives ou négatives. Puis il émettait l'espoir que, si M. Regnault possédait en effet des données relatives à la marche des différents thermomètres comparée à celle des thermomètres à air, un service considérable serait rendu par la publication de ces données.

Toute possibilité en ce sens s'est trouvée détruite par un acte de vandalisme inouï : tous les instruments et les archives de la manufacture de Sèvres avaient été détruits pendant le siège (voir le récit de REGNAULT dans les *Archives de Physique et de Chimie*, 4^e série, t. XXIV, 1871, p. 37; et DUMAS, *Éloge historique de Regnault*). J'ai en vain cherché quels furent les auteurs de cette barbarie raffinée. Je sais seulement que c'était le V^e Corps d'armée, commandé par le Général-Lieutenant von Kirchbach, qui a occupé Sèvres; mais j'ai en vain cherché les numéros de la division, de la brigade, du régiment et du bataillon, ainsi que les noms de leurs commandants.

Telle est la triste fin d'une glorieuse polémique. La perte cruelle de son

filis Henri, peintre hors ligne, mort en héros devant l'ennemi, combinée avec la lugubre découverte de cet acte de vandalisme, ont hâté la mort de l'illustre savant. Je tiens de M. Bertin un triste tableau de l'état du grand homme après ces désastres : son apparition à l'Académie était celle d'un fantôme ; une mort prématurée enlevait bientôt à la science un de ses plus ardents serviteurs.

Revenons à notre sujet. M. Boscha avait fait usage, pour calculer la dilatation apparente du mercure, de la formule $V_t = V_0 e^{\beta t}$, dans laquelle

$$\beta = a + bt + ct^2;$$

la polémique avec M. Regnault avait appelé l'attention sur une longue série d'observations, qui permettait de vérifier la marche des deux thermomètres en cristal ; en déterminant la pression de la vapeur, Regnault faisait usage d'un thermomètre à air, mais en même temps il notait les indications des thermomètres à mercure n° 0 et n° 10 en cristal de Choisy-le-Roi. Le nombre des observations disponibles était de 154, divisées en 62 groupes, et elles s'étendaient depuis 100° jusqu'à 230°,47. Le calcul confirmait parfaitement la formule choisie, seulement il fallait admettre une erreur d'index dans le thermomètre à air, cette erreur étant différente dans chacune des trois séries entre lesquelles les 62 groupes étaient divisés. L'accord était si parfait que, dans les deux tiers des 62 groupes, l'écart entre les résultats des observations et ceux du calcul était inférieur à 0°,05, et, dans les cas où des écarts plus grands étaient constatés, les communications de Regnault à leur endroit constataient quelques irrégularités dans la marche de l'expérience. Le fait suivant démontre non seulement la grande précision avec laquelle Regnault faisait ses observations, mais encore, hélas ! le manque de soin apporté à la correction des épreuves. Dans deux des trois séries du thermomètre à air, l'erreur d'index était à peu près la même ; cette erreur a un caractère accidentel, et, par suite, il est très probable qu'elle avait la même cause dans les deux cas. Une recherche sérieuse mettait en évidence que ce n'était point là l'effet du hasard, et démontrait au contraire que les deux déterminations du point 0° de la seconde série, l'une au commencement, l'autre à la fin de la série, n'ont servi ni l'une ni l'autre pour le calcul des températures du thermomètre à air. Probablement elles ont été introduites par erreur dans le tableau.

D'un autre côté, la marche très régulière des thermomètres en cristal de Choisy-le-Roi était démontrée, et l'on pouvait constater, avec une certitude presque absolue, que, entre 0° et 100°, ces thermomètres indiquaient une température inférieure à la véritable, mais que la différence était parfaitement calculable.

Dans le *Jubelband* des *Annales de Poggendorf*, année 1874, le Dr Boscha a démontré l'influence que la marche des thermomètres doit avoir eue sur la loi qui lie la chaleur spécifique avec la température. Regnault proposait

la formule

$$S = 1 + 0,00004t + 0,0000009t^2.$$

Au lieu de cette formule, Boscha proposa une chaleur spécifique constante jusqu'à 18°. Au-dessus de cette température, il proposait la formule

$$S = 1 + 0,00022(t - 18°).$$

Avec tout le respect que nous devons à l'érudition du Dr Boscha, je ne puis accepter ces formules : avec elles, la chaleur spécifique ne varierait pas d'une façon continue ; or une ligne brisée ne pourra jamais représenter avec exactitude cette quantité. La formule a encore à mes yeux le défaut de représenter S comme pouvant atteindre une valeur infinie, ce qui est invraisemblable.

Ajoutons que la formule de Regnault présente le même défaut. Nous verrons plus loin que ni l'une ni l'autre ne s'accordent avec les recherches ultérieures.

Avant de continuer l'aperçu historique de cette controverse scientifique, je voudrais appeler l'attention de mes collègues sur cette circonstance rassurante, que la partie la plus importante des œuvres de Regnault, celle qui se rapporte à la tension de la vapeur d'eau en fonction de la température, est basée sur l'observation du thermomètre à air. Le doute, résultat de la polémique scientifique sur les recherches de Regnault, n'a pas de raison d'être dans cette partie de son œuvre, la partie la plus importante peut-être pour la thermodynamique.

La dernière communication de Boscha mit bien des plumes en mouvement. Un savant Allemand, nommé Velten, mit en relief dans les *Wiedemann's Annalen* (t. XXI) le manque d'harmonie des données observées et des données calculées du tableau de la page 472 de Regnault. En général, ce désaccord était insignifiant ; mais, dans treize cas, il était considérable. Wüllner, que nous avons déjà rencontré au sujet de la détermination de la dilatation du mercure, demandait des éclaircissements à l'Académie, mais en vain ; par suite, il refusait toute valeur aux recherches de Regnault, ce que Boscha ne pouvait admettre ; malheureusement à ce moment il manquait, par suite de la déplorable destruction de la Manufacture de Sèvres, des éléments nécessaires pour prouver le mal fondé des assertions de Wüllner. Velten accusait un maximum de S à 7° environ, un minimum à 11°, puis un nouveau maximum à 18° et un minimum à 40° ; au-dessus de 100°, S ne s'élevait pas sensiblement. Ces conclusions, déduites directement des observations de Regnault, furent combattues par Boscha, à tort cependant, comme nous le verrons plus loin. De tous ceux qui ont analysé l'œuvre de Regnault, c'est Velten qui a le plus approché de la vérité. Boscha, dont les objections étaient d'une nature purement théorique, pouvait bien admettre quelques irrégularités entre 0° et 4°, parce que, à 4°, l'eau atteint un maximum de

densité, mais les variations au-dessus de 4° ne lui paraissaient pas admissibles. Nous verrons plus tard qu'en effet ni l'une ni l'autre de ces hypothèses n'a été confirmée expérimentalement, qu'en réalité le maximum constaté par Velten à 7° a complètement disparu, qu'à 4° la courbe $S = f(t)$ est parfaitement continue, mais, d'un autre côté, que Velten a été singulièrement heureux en constatant un maximum à 40° environ, ce qui démontre la grande exactitude des observations de Regnault.

La question était dans cet état peu satisfaisant, quand entra en campagne un nouveau combattant, M. John Mac Farlane Gray. Après le Dr Boscha, peu de personnes se sont occupées aussi sérieusement de l'analyse des travaux de Regnault que cet ingénieur émérite. Célèbre déjà par l'invention du gouvernail à vapeur asservi, appliqué pour la première fois au *Great Eastern*, il s'est appliqué assidûment à l'étude de la thermodynamique, et a rendu populaire, en Angleterre, l'emploi de l'entropie, inconnue jusque-là dans ce pays. Mais, pour cette étude, il avait besoin de données très exactes, qu'il cherchait dans les publications de Regnault. En 1867, il visitait, à Paris, le Conservatoire des Arts et Métiers, lors de la première réunion tenue à Paris par l'Institution of Mechanical Engineers, et y remarquait les instruments qui avaient servi aux recherches de Regnault. Lors de la seconde réunion tenue à Paris par cette Institution en 1889, M. Gray résolut de rédiger un mémoire discutant l'œuvre de Regnault, à titre d'hommage rendu à ce grand homme. Ce mémoire fut publié dans l'*Engineering* (1889, p. 57). L'étude de ce mémoire est bien intéressante, je la recommande à mes collègues; pour le moment, je me propose de noter seulement ce qui a trait à notre sujet. M. Gray constate une déplorable nonchalance de la part de Regnault dans la correction des épreuves de son travail. Par exemple, en tête d'une des colonnes de son tableau, se trouve l'expression : *température initiale* du calorimètre au lieu de *température finale*. La page 739 contient la formule

$$(P_1 - P_0 + p - \pi) x (T - t_1) = (P_0 - p - \pi) (t_1 - t_0);$$

dans le second membre $-\pi$ doit être remplacé par $+\pi$.

Mais les erreurs les plus sérieuses se trouvent dans le tableau de la page 742. Dans 13 cas, par exemple celui du n° 34, la capacité du calorimètre était inférieure à la somme des quantités d'eau froide et d'eau chaude, et, ce qui nous importe infiniment, c'est que ces 13 cas sont ceux pour lesquels Velten avait constaté des divergences considérables entre le calcul et l'observation; ainsi ce que Wüllner attribuait à des erreurs d'observation était en réalité le résultat de fautes typographiques. Me rappelant les recherches critiques de Boscha, des années 1869 à 1874, je communiquai à la Koninklijke Akademie van Wetenschappen l'étonnant résultat du travail de M. Gray, et je demandai des renseignements sur les recherches antérieures de Boscha, lesquelles n'étaient pas à ma disposition. M. Boscha lui-même donna, dans la séance du 20 avril 1893, un aperçu de ses recherches, et exprima sa satisfac-

tion, de ce que les faits constatés par M. Gray réformaient la condamnation portée par Wüllner sur les recherches expérimentales de Regnault, et démontraient son inanité.

Ici nous pouvons dire que la période Regnault-Boscha est close. D'autres travailleurs entraient en campagne. Le plus remarquable d'entre eux est M. Rowland, de Baltimore (Etats-Unis); la question prend un caractère de plus en plus international. Rowland, dont les recherches ne s'étendaient pas au delà de 36°, constatait un minimum de S à 29°; $S_1 - S_{29} = 0^{\text{cal}}, 01$. Après Rowland, une foule de laborieux expérimentateurs se sont occupés de la question. Je citerai entre autres Miculescu, Griffiths, Schuster et Gannon, Reynolds, Moorby, Lüdin, Bartoli, Stracciati, etc. Mais, quelque méritoires que soient leurs travaux, ils ne peuvent supporter la comparaison avec ceux de M. Howard Turner Barnes, M. A. Sc. D. Sc, Joule Student. Avant d'en commencer l'analyse, je tiens à vous mettre au courant des circonstances qui m'ont mis en relation avec lui.

Je venais de recevoir *Les Machines marines* de notre Vice-Président, M. E. Bertin; en les étudiant, je fus frappé de la nouveauté des idées émises sur la thermodynamique, et de la clarté de l'exposition. Aussi, lorsque je trouvai à la page 8 la formule :

$$(5) \quad l = t + 0,00002t^2 + 0,0000003t^3,$$

qui représente la quantité de chaleur nécessaire pour porter l'eau à la température t , formule évidemment déduite de la formule de Regnault qui exprime S en fonction de t , je regrettai qu'un livre si récent et d'une si haute valeur ne fût pas à la hauteur des faits en ce qui concerne l'entropie. Mais, n'ayant pas de formule à proposer pour remplacer celle de Regnault, j'hésitai à communiquer ces observations. J'avais des objections à la formule de Boscha : 1° elle représentait S en fonction de t par une ligne brisée, horizontale jusqu'à 18°, puis brusquement ascendante à partir de ce point, ce qui ne peut être conforme à la vérité; 2° elle n'est pas vérifiée par les recherches ultérieures de Rowland, qui constatent nettement un abaissement depuis le point 0°; 3° je fais des objections à la formule de Boscha aussi bien qu'à celle de Regnault pour des raisons que je me réserve de vous expliquer quand je discuterai le travail de Barnes. « La critique est aisée, mais l'art est difficile », devait penser l'auteur en me voyant présenter mes objections sans donner une formule pour remplacer celles que je condamnais. Il ne me restait qu'une voie ouverte : si, en condamnant la formule de Regnault, je m'engageais à y substituer une nouvelle formule, basée sur des recherches expérimentales, l'auteur ne pouvait m'accuser de pratiquer la critique creuse et sans portée. C'est ainsi que j'agis; je présentai mes critiques à M. Bertin, et en même temps je m'adressai à M. Barnes pour lui demander des renseignements sur ses recherches. Je pus me féliciter du succès de mes lettres. Avec une bienveillance extrême, M. Bertin me remercia de mes remarques, confirmées par

son collègue de l'Institut, M. Amagat, et me fit savoir que dans une seconde édition il ne manquerait pas d'en tirer parti; d'autre part, M. Barnes m'envoya deux de ses publications sur la capacité calorifique de l'eau, savoir : *On the capacity for heat of water between the freezing and boiling points, together with a determination of mechanical equivalent of heat in terms of electrical units. Experiments by continuous-flow method of calorimetry, performed in the Macdonald physical laboratory of Mc Gill University, Montreal*, mémoire présenté à la Royal Society de Londres; *On the specific heat of supercooled water*, reproduction d'un mémoire paru dans la *Physical Review* (Vol. XV, n° 2, août 1902). Le premier était une reproduction des *Philosophical Transactions* (série A, Vol. CXCIX, p. 149-263). Cette étude avait été précédée d'une autre, faite par l'auteur en collaboration avec le professeur Callendar, et intitulée : *On the variation of the electromotive force of the Clark standard cell* (*Proceedings of Royal Society*, Vol. LXVII, 1897, p. 117).

Au sujet de l'histoire de ses recherches, M. Barnes raconte à peu près les faits suivants. En 1896 il discutait avec M. le professeur Callendar au sujet de la nécessité de déterminer les capacités calorifiques de l'eau et du mercure, de façon que les causes d'erreur fussent réduites au minimum. Ils croyaient devoir dans ce but recourir à la méthode de l'écoulement continu, *continuous flow*, méthode que je viens de proposer à la dernière séance de l'Association Technique Maritime pour déterminer la résistance hydrodynamique d'un navire. Des discussions de l'automne de 1896 résulta, dans les premiers mois de 1897, un commencement d'expériences sur le mercure. En général, les résultats étaient satisfaisants, mais devaient être considérés comme le préambule de travaux plus sérieux relatifs à l'eau; à la session de la British Association, on présenta aux membres de cette association un calorimètre. En septembre, M. Callendar, par suite du temps qui lui était pris par d'autres études, ne pouvait plus collaborer à ces expériences. M. Barnes, de son côté, eut assez de temps pour pousser vigoureusement le travail pendant l'hiver, assisté par M. Russell B. Stovel, B. Sc. Au printemps suivant, M. le professeur Callendar était appelé à occuper une chaire à Londres, la *Quain chair of Physics in University College*, et était obligé de renoncer à toute participation à ces expériences. M. Barnes eut également à regretter le départ de M. Stovel, lequel fut remplacé par un aide volontaire, M. Charles Sheffield, B. Sc. Pendant les vacances, le travail fut de nouveau poussé vigoureusement; malheureusement les résultats furent influencés par une cause d'erreurs alors inconnue, les courants intérieurs (*stream line-motion*) dans le calorimètre. A son tour M. Sheffield était contraint d'abandonner ces expériences, parce qu'il avait accepté un poste d'électricien aux chutes du Niagara, où il devait mourir deux ans après. M. Barnes fut obligé de travailler soit seul, soit avec l'assistance intermittente de M. H. M. Tory, M. A.-M. Barnes était obligé d'observer à lui seul les

instruments thermométriques et électriques, ce à quoi il réussit fort bien, mais non sans perte de temps. Des perfectionnements graduels apportés à son appareil lui permirent de continuer seul son travail; à partir de janvier 1899, chaque expérience fut faite par une personne seulement. Les résultats de ce travail entre 4° et 60° , obtenus de janvier à juin, furent communiqués à la British Association, réunie à Douvres en septembre. Une reproduction de ce mémoire, augmentée de quelques déterminations à des températures au-dessus de 60° , se trouve dans la *Physical Review* (avril 1900). L'auteur exprime sa reconnaissance à diverses personnes : outre ses assistants déjà nommés, c'est à MM. John Cox, Directeur du Macdonald Physical Laboratory, J.-M. Fraser B. Sc., Démonstrateur dans ce même laboratoire, et à G.-W. Scott, qu'il exprime ses remerciements pour les facilités accordées par le premier, les observations et comparaisons de l'unité de résistance faites par le second, et la préparation des figures par le troisième. Il exprime aussi sa gratitude à MM. Eimer et Amend de New-York, pour les soins apportés à la construction de trois calorimètres. Je traduis ci-dessous un fragment de l'introduction historique de ce mémoire :

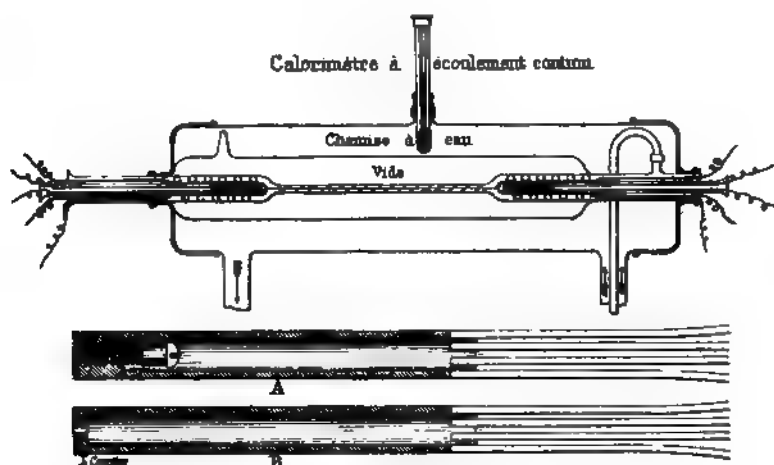
« Dans la présente communication, je désire rendre compte de la série
» complète d'expériences faites pour constater la variation de la chaleur
» spécifique de l'eau entre 0° et 100° , convaincu qu'elles fournissent les
» valeurs exactes avec une approximation de $\frac{1}{10000}$, et indiquer la vérification
» miraculeuse du travail de Regnault, dans toute la partie où ses expériences
» méritent le plus de confiance, vérification si complète, qu'on peut dire que
» le présent travail peut s'appliquer même aux températures où il n'est pas
» possible de maintenir l'eau à l'état liquide. » Voilà la mémoire de Regnault pleinement justifiée !

Je me bornerai à une description très abrégée de l'appareil employé par M. Barnes. Si l'on se reporte à la figure 1, on voit qu'il se compose d'un tube central étroit, dans lequel l'eau est échauffée pendant qu'elle le parcourt, entouré d'un espace vide d'air, entouré lui-même d'une chemise extérieure pleine d'eau. Des thermomètres sont placés dans les tubes d'entrée et de sortie d'eau. Un courant électrique circule dans un fil de platine sur toute la longueur du tube, mais des dispositions sont prises pour soustraire les thermomètres à l'action directe de la chaleur développée. Un thermomètre donne la température d'entrée θ_0 , l'autre celle de sortie θ_1 , supérieure à la première par suite de l'échauffement de l'eau dû au courant électrique. La température s'élève rapidement dans la partie rétrécie du tube, et descend graduellement en dehors de celui-ci.

La pile Clark, remarquable par sa constance extraordinaire, et qui sert d'étalon en Angleterre, fut choisie dans ces expériences comme étalon de l'accumulateur qui servait de source de chaleur. Elle se compose (voir fig. 2) d'un tube extérieur, d'un tube intérieur contenant un fil de platine placé au fond, et immergé dans une masse de mercure soigneusement distillé.

Au-dessus se trouve une pâte formée de sulfate de mercure, de sulfate de zinc saturé, et un peu d'oxyde de zinc pour le neutraliser. Une lame ou baguette de zinc pur plonge dans la pâte; le tout est fermé par un bouchon

Fig. 1.



scellé à la glu marine. La force électromotrice est de $1,434 \times 10^3$ à 15° ou $1,434$ volts.

Fig. 2.

Pile Clark

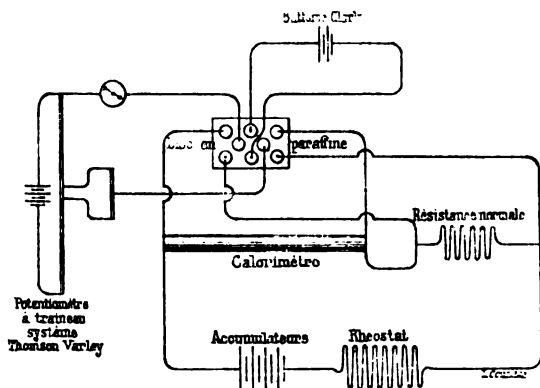
Glas	
Bouch	
Sulfate de	zn
Sulfate de	ox
Sulfate	
Mercur	ox

La figure 3 montre schématiquement les connections électriques. Un accumulateur de 4 éléments, chacun de 200 ampères-heures, fournissait le courant d'échauffement du fil de platine du calorimètre; le courant passait par le rhéostat et la résistance de comparaison; en enlevant un ou plusieurs éléments, on pouvait régler approximativement l'intensité du courant, et le rhéostat permettait le réglage exact.

Les potentiels extrêmes étaient mesurés entre le calorimètre et la résistance, entre deux éléments Clark en série et le bloc de paraffine, où les

électrodes plongeaient dans du mercure remplissant les trous évidés dans la paraffine. Des fils, sur lesquels étaient intercalés à gauche le potentiomètre et un galvanomètre, réunissaient deux autres trous découpés dans la paraffine; en intervertissant les électrodes, on pouvait mettre dans le circuit du

Fig. 3.



galvanomètre et du potentiomètre un élément Clark, le calorimètre ou la résistance.

Si

X_0 représente l'indication du potentiomètre pour le point d'équilibre de l'élément Clark;

X_1 l'indication pour la différence en potentiel sur le calorimètre;

X_2 l'indication pour la résistance R ;

e la force électromotrice de la pile Clark;

R la valeur de la résistance;

E , potentiel du calorimètre, sera, si l'on emploie deux éléments Clark, $\frac{X_1}{X_0} \times 2e$.

L'intensité C du courant dans le conducteur sera $\frac{X_2}{X_0} \times \frac{2e}{R}$; par suite, l'énergie totale sera égale, en watts, à

$$EC = \frac{X_1 X_2}{X_0^2 R} \times 4e^2.$$

L'erreur expérimentale dans la mesure de EC dépendra de l'exactitude avec laquelle X_0 , X_1 et X_2 auront été observés, et de la constance de e et de R .

La constance des piles Clark a été vérifiée avec le plus grand soin; dans les expériences, elles étaient maintenues artificiellement à la température de 15° ; des oscillations de $0,2$, au maximum, étaient seules admises.

Les études critiques de Boscha avaient déjà démontré l'urgente nécessité

d'un thermomètre parfaitement réglé, pour mesurer la variation de S en fonction de la température. Les recherches expérimentales de Rowland ont confirmé cette nécessité; avec les thermomètres à mercure les corrections nécessaires sont si nombreuses, et d'ailleurs si irrégulières, que Barnes résolut d'employer le thermomètre Callendar à platine, qui, d'après son expérience, donne des résultats parfaitement inattaquables, bien qu'il faille faire quelques corrections, dont la principale résulte de la variation de résistance du platine.

Revenons au calorimètre représenté figure 1. On voit les réservoirs des thermomètres placés dans les évasements du tube central, dont le diamètre est de 9^{mm} environ; ils s'étendent sur toute la longueur des tubes d'entrée et de sortie, et les dépassent même quelque peu. Les extrémités des logements des thermomètres sont enfermées dans des cylindres minces en cuivre doré, qui ont le double but d'empêcher la production de chaleur par le courant électrique dans le voisinage des thermomètres, et d'uniformiser la température autour des thermomètres. Le courant électrique générateur de chaleur est amené par huit fils n° 12 à des cylindres de cuivre A et B (*fig. 1*); ces fils sont soudés dans des cannelures à leur extrémité. Les cylindres sont fermés à une extrémité par un fond, dans lequel est ménagé un petit trou, qui permet d'y amener le fil de platine, lequel y est soudé, et peut aussi être fixé par une vis (*voir A*). Le fil central de platine, qui chauffe l'eau, a été de trois types différents : 1° un fil unique de 0^{mm},4 de diamètre; 2° six fils de 6^{mm}; 3° une bande plate contournée en spirale. C'est le premier type qui donna les meilleurs résultats, quand le fil était maintenu dans l'axe du tube par un cordon de caoutchouc recouvert de soie, formant autour de lui des spirales de 1^{mm}. Le deuxième et le troisième type présentèrent des difficultés de montage. Les tubes de cuivre étaient environnés de tubes de caoutchouc, dont le triple but était de maintenir en place le tube central, d'agiter l'eau à son passage près des thermomètres, enfin d'isoler les fils sur lesquels on mesurait les potentiels.

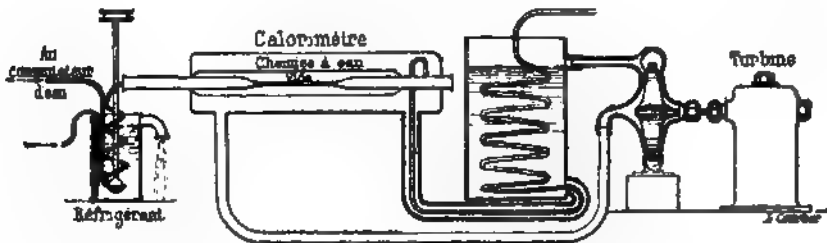
La chemise ou enveloppe d'eau était un tube en cuivre de section elliptique de 838,2 × 60 × 80^{mm}; un thermomètre était suspendu dans l'eau de circulation. En se reportant à la figure 4, on voit la manière dont la température de l'eau de circulation est réglée par le régulateur Gouy (*Journal de Physique*, 1897, t. VI, p. 479). Une batterie d'une force électromotrice de 100 volts fournit l'électricité nécessaire pour allumer une lampe de 32 bougies, sous 100 ohms de résistance, ou une de 50 bougies, 60 ohms, ou encore une de 16 bougies, 200 ohms. La grande lampe servait à chauffer l'eau; si elle ne suffisait pas au chauffage, un bec de gaz auxiliaire chauffait la pompe centrifuge (*fig. 5*), qui fournissait l'eau; on voit que, si un courant électrique passe par les bobines du relais, tel qu'il est représenté sur la figure 4, le courant de la batterie de 100 volts passe par la grande et la petite lampe en série; la chaleur dégagée par la grande lampe n'est que le quart de ce qu'elle est

quand la petite lampe est en circuit dérivé avec la grande, ce qui se produit quand le courant de la batterie de 100 volts peut passer directement par les pointes du relais immergées dans le mercure. Le courant du relais est ouvert ou fermé par le régulateur Gouy. Celui-ci se compose d'un vase dans lequel doit passer l'eau de circulation. Une cloche immergée renferme, au-dessus

Fig. 4.

d'une couche de mercure, environ 300^{cm} de toluène; elle correspond par un robinet à trois voies, soit avec un vase rempli de mercure, servant de réservoir, soit avec le régulateur; la poulie qui met en mouvement les ailes de l'agitateur de l'eau fait aussi, par l'intermédiaire d'un joint universel, tourner une vis sans fin et un pignon à denture hélicoïdale. Une manivelle

Fig. 5.



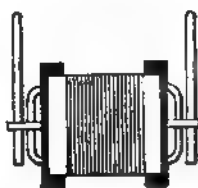
portée par cette roue communique, par l'intermédiaire d'une bielle, un mouvement alternatif à une tige de platine; quand cette dernière touche le mercure dans le petit vase, le circuit du relais est fermé, et celui-ci agit de la manière indiquée plus haut. Si l'eau, et, par suite, le mercure se refroidissent, le niveau de celui-ci s'abaisse, la tige de platine ne rencontre plus le mercure dans son mouvement de va-et-vient, et le relais, n'étant pas mis en action, cesse d'agir. Cette forme de régulateur fonctionnait fort bien, et l'auteur la

recommande. En se reportant à la figure 5, on peut se faire une idée de la circulation de l'eau dans l'appareil.

L'établissement de résistances normales, pour la vérification des rhéostats, fut l'objet d'une étude spéciale, semblable à celle indiquée plus haut pour l'élément Clark. La force électromotrice des éléments employés dans les expériences était de 1^{vol}, 43325 à 15°.

Pour les unités de résistance, l'auteur commença ses recherches avec un fil de manganèse de 1^{mm} de diamètre, mais la résistance de ce fil ne restait pas constante; il établit alors une résistance normale représentée figure 6;

Fig. 6.



elle se compose de deux fortes plaques de mica d'environ $100 \times 63^{mm},5$ maintenues à un écartement de 19^{mm} par des bandes d'ébonite; ces bandes placées aux extrémités étaient maintenues par des boulons appuyant sur des rondelles en ébonite; deux fils de $6^{mm}\frac{1}{4}$ passaient à chaque extrémité dans des trous percés dans l'ébonite, et étaient reliés par des plaques de cuivre prolongées aussi jusqu'en dedans de la boîte; des fils de cuivre de même diamètre, recourbés en U, étaient soudés à ces plaques de cuivre, et les mettaient en communication avec une balance de Wheatstone. Les plaques de mica, dentelées en haut et en bas, étaient entourées par les spires de deux fils nus de platine-argent de $0^{mm},4$; les extrémités de ces fils étaient soudées au chalumeau aux fils de cuivre, puis ils étaient recuits au rouge foncé par le passage d'un courant électrique; c'était seulement alors que les différentes parties de l'appareil étaient réunies, et le tout plongé dans un bain d'huile paraffinée renfermée dans un bac en ébonite. L'huile était chauffée à la température voulue, par circulation dans un serpentin d'eau chaude, agitée mécaniquement, et la température donnée par un thermomètre. L'huile pouvait circuler librement dans les résistances, qui étaient ouvertes par le haut et par le bas. Elles étaient minutieusement comparées à un étalon de 1 ohm provenant du Reichsanstalt Allemand, prêté par le Physical Department of Massachusetts Institute of Technology. Il était exactement de 1 ohm à 20°.

Pour terminer ces descriptions abrégées, j'indiquerai la méthode employée par M. Barnes pour la mesure du temps et du poids de l'eau chauffée dans le

calorimètre. La durée de l'écoulement était généralement de 15 minutes. Le temps était indiqué par un chronographe enregistreur, qui marquait les secondes, données par un pendule-étalon, l'intervalle des indications étant de 1^m. Le cylindre du chronographe faisait une révolution par minute ; chaque seconde était pointée par une plume actionnée par un relais, mis en action chaque fois que le pendule venait en contact avec un globule de mercure placé au milieu de sa course.

Le courant d'eau provenant du calorimètre pouvait être amené par un des deux orifices de ce que je propose d'appeler le *commutateur d'eau*, que représente la figure 7, dans une bouteille tarée munie d'une tubulure en

Fig. 7.

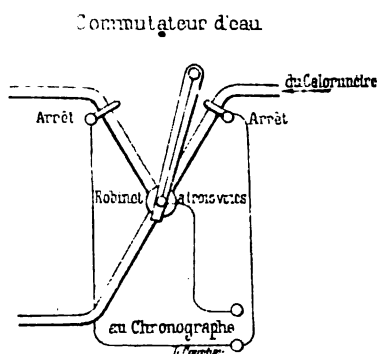
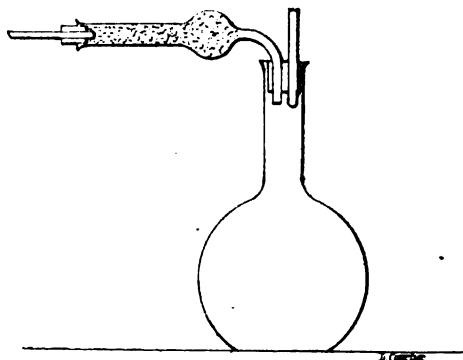


Fig. 8.



caoutchouc (fig. 8), dans laquelle entrait le tube. Un second trou servait à évacuer l'air, qui passait par un tube contenant du chlorure de calcium. Ces deux trous pouvaient être fermés par des bouchons en verre.

De l'intérieur de la bouteille au calorimètre, l'eau n'était pas en contact avec l'atmosphère. La capacité de chacune des deux bouteilles dont on s'est servi était d'environ 750^{cm}³, mais la quantité d'eau pesée ne dépassait jamais 650^{cm}³, et variait généralement entre 350^g et 600^g. Le poids de la bouteille vide était vérifié directement, avant le commencement de l'écoulement, et quelque temps après qu'elle avait été débouchée dans la cage de la balance, car il y avait toujours un peu d'eau adhérente aux parois, qui provenait d'une expérience précédente. On se servit d'une balance Cœtling sensible à 0^g,001, sous un poids de 500^g. Les poids en laiton étaient minutieusement vérifiés ; l'auteur s'était assuré que l'erreur ne pouvait jamais dépasser $\frac{1}{100000}$, et était probablement inférieure à $\frac{1}{500000}$.

Une partie de l'eau s'évaporait dans les bouteilles, et était retenue par le tube à chlorure de calcium. Mais, en réduisant le poids de l'eau dans l'atmosphère à celui de l'eau dans le vide, on devait tenir compte de la présence de la vapeur dans la bouteille. On supposait l'air dans la bouteille saturé par la vapeur à la température de l'eau lors de sa pesée. Le rapport entre le

poids dans le vide et le poids dans l'air était calculé par la formule

$$\frac{W_{\text{vide}}}{W_{\text{air}}} = \left(1 + \frac{\lambda_t}{S} - \frac{\lambda_t}{8,4} \right),$$

dans laquelle

$$\lambda_t = \frac{\lambda_0}{1 + 0,00366t} \times \frac{p - \rho}{P};$$

$$\lambda_0 = 0,001293, \quad P = 760;$$

p est la pression barométrique lors de la pesée, ρ la tension de la vapeur d'eau à la température du moment de la pesée. A la température ordinaire du laboratoire, cette dernière correction n'atteignait guère $\frac{2}{100000}$; pour pouvoir l'appliquer, il était nécessaire que la température à laquelle l'eau était introduite dans la bouteille fût égale à celle de l'atmosphère, et à cet effet un réfrigérant était installé près du calorimètre (voir fig. 5). Un petit changement dans la température du réfrigérant pendant la durée d'une expérience, accusé par le thermomètre placé dans le bain, nécessitait une petite correction; à cet effet on notait les températures immédiatement avant et après la mise en communication avec la bouteille; si Δt est la différence de ces deux températures, v le poids de l'eau contenue dans le serpentin en cuivre du réfrigérant, α le coefficient de dilatation de l'eau, la correction est $\alpha v \Delta t$, et, si Δt est de l'ordre d'un degré, cette correction est négligeable, le volume total d'eau contenue dans le tube en cuivre étant d'environ 22%.

Tel est l'aperçu très bref des instruments et installations employés pour la détermination de S en fonction de t . Quoique très abrégé, il est encore suffisamment long; j'espère que, néanmoins, il vous donnera une idée des précautions si nombreuses et minutieuses employées soit pour éliminer, soit pour corriger toute cause d'erreur. Je pense que vous serez convaincus que ces recherches, poursuivies avec le plus grand soin par l'auteur, pendant cinq années, basées sur les principes scientifiques les plus modernes, présentent toute garantie d'une certitude indubitable dans les résultats.

Huit séries d'expériences ont été exécutées :

Première série entre 4° et 35°. — L'eau du calorimètre était de l'eau distillée, et ensuite bouillie; malgré cela, elle contenait encore de l'air, ce qui faussait les résultats.

Deuxième série entre 22° et 60°. — Les résultats entre 22° et 35° coïncidaient assez bien avec ceux de la première série, mais au-dessus de 35° il y avait des écarts, dus probablement au manque de régularité de la pression du gaz d'éclairage, ce qui produisait quelques variations dans la température du système circulatoire. Mais, à 60°, les irrégularités avaient cessé, et le fonctionnement devenait très stable.

Troisième série. — De nouveau, les expériences, aux températures élevées, devenaient infructueuses, par suite du dégagement d'air dans le calorimètre;

bien que l'eau eût été maintenue en ébullition jusqu'au moment où on la versait dans les entonnoirs, des bulles d'air se formaient encore dans le calorimètre; les résultats voisins de 67° sont spécialement affectés par cette circonstance.

Quatrième série. — La bande de platine hélicoïdale, employée dans cette série d'expériences, donnait lieu à des irrégularités dans la perte de chaleur; cependant la valeur de S ne différait pas sensiblement de celles trouvées antérieurement.

Cinquième série. — Expériences faites avec la même bande de platine, mais avec un tube de 3^{mm} , le plus grand qu'on ait employé dans ces expériences; les résultats n'étaient pas satisfaisants, par suite de la formation de courants intérieurs, qui ne permettaient pas un mélange d'eau à température uniforme.

Sixième série. — La bande de platine fut remplacée de nouveau par le fil central recouvert par le caoutchouc et la soie; températures de 1° à 20° . Les valeurs des séries I et II étaient bien vérifiées par celles de cette série; elles dénotaient une rapide décroissance de S près de 0° . Une tentative aux températures élevées échoua de nouveau.

Septième série. — La difficulté résultant de la présence de l'air fut vigoureusement attaquée; les observations allèrent de 30° à 86° , et les résultats furent satisfaisants.

Huitième série de 32° à 92° . — Les observations précédentes furent bien vérifiées; comme les difficultés causées par la présence de l'air étaient complètement vaincues, les résultats de cette série sont les plus exacts; la continuité d'une ligne passant par les points trouvés expérimentalement ne laisse rien à désirer, surtout aux environs de 100° .

Le calcul des résultats fut fait par la machine à calcul Brunsviga, ce qui facilita beaucoup le travail.

Avant de continuer la discussion de la contribution à la Royal Society, je crois à propos de discuter brièvement les recherches entreprises par M. Barnes, en collaboration avec M. H. Lester Cook, sur l'eau au-dessous de 0° , lesquelles ont été publiées sous le titre de *On the specific heat of supercooled water* (*The Physical Review*, t. XV, n° 2, août 1902) pour la Cornell University, par Macmillan. La variation rapide de S au voisinage de 0° , précédemment constatée par Rowland, Griffiths, Lüdin, étant déjà confirmée par les recherches de Barnes, il devenait désirable de rechercher aussi la valeur de S à une température inférieure à 0° . Après quelques tentatives infructueuses, les deux savants inventèrent une méthode, qui donna des résultats d'une exactitude satisfaisante. Un calorimètre en cuivre poli était suspendu dans un récipient en cuivre poli bien protégé par une enveloppe non conductrice. On versait dans une bouteille 200^{cc} d'eau soigneusement préparée, et débarrassée de poussières, et dans une autre la même

quantité d'eau distillée ordinaire. Deux bains étaient préparés, l'un pour les températures basses, l'autre pour les températures élevées. La première bouteille était refroidie à la température choisie, l'autre chauffée à une température dépassant celle du calorimètre d'une quantité égale à celle dont la première lui restait inférieure. Les deux bouteilles étaient vidées en même temps dans le calorimètre, on observait la température du mélange : celle-ci ne différait guère de celle du calorimètre, ce qui rendait superflue toute correction pour absorption de chaleur par le calorimètre, le mercure du thermomètre et l'agitateur; l'exactitude de la méthode dépend de l'exactitude des thermomètres; la circonstance que, pendant le transport, la bouteille chaude perd autant de chaleur que la froide en gagne, nécessite un déversement simultané des deux bouteilles, et une agitation vigoureuse du mélange. On employait des thermomètres Muller comparés et corrigés. En renvoyant le lecteur au mémoire cité plus haut, inséré dans la *Physical Review*, nous nous bornerons à signaler qu'on a atteint une température de $-5^{\circ},550$, et que ces remarquables expériences ont parfaitement confirmé la variation rapide de S près de 0° .

Revenons encore, après cette digression, au mémoire présenté à la Royal Society. Les résultats des tableaux synoptiques des essais faisaient ressortir pour la valeur moyenne de S celle de 16° ; par suite, Barnes la prit pour unité. Dans ce qui suit, j'ai pris, d'accord avec Regnault et d'autres, $S_0 = 1$. Cherchant à exprimer S en fonction de t , M. Barnes déclarait que, par suite du changement de régime à $37^{\circ},5$, il était impossible d'employer une formule unique. En se reportant aux tables et au diagramme des variations de S en fonction de t , on trouve un minimum à cette température, ce qui ne justifie pas encore l'expression de M. Barnes, que je citerai textuellement : « No one simple formula can be fitted to the complete curve between 0° and 100° , with any degree of accuracy, on account of the change which occurs at $37^{\circ},5$, which is the point of minimum specific heat ». Aussi propose-t-il les formules suivantes, avec $S_{16} = 1$: entre 5° et 55° ,

$$S_t = 0,99733 + 0,0000035(37^{\circ},5 - t)^2 + 0,00000010(37^{\circ},5 - t)^3,$$

et, au-dessus de 55° ,

$$S_t = 0,99850 + 0,000120(t - 55^{\circ}) + 0,00000025(t - 55^{\circ})^2.$$

Ces deux formules représentent assez exactement, suivant l'auteur, les variations de S en fonction de t , mais ne peuvent représenter la variation rapide de S au voisinage de 0° .

J'ai, indépendamment de cette dernière remarque, diverses objections à faire. Représenter une ligne continue par deux autres, qui donnent une ligne brisée, ne peut jamais conduire à des résultats très exacts. Pour le calcul de l'entropie, il est très désirable de n'avoir recours qu'à une formule unique, qui donne S en fonction de t . En outre, ces formules donnent pour S

une valeur infinie pour $t = \infty$; or je ne puis concevoir une chaleur spécifique croissant jusqu'à l'infini; c'est contraire à la nature de la matière. Je suppose que l'accroissement diminue avec la température, et que la ligne représentant S en fonction de t doit être asymptote à une parallèle à l'axe des t . Les formules de Barnes pèchent par la même improbabilité que celles de Regnault, de Boscha, et, comme nous le verrons, d'autres encore.

Je cherchai une formule pouvant représenter S en fonction de t , et s'appliquant à la totalité des résultats de Barnes; mais pour cela la forme de l'expression devait être totalement transformée. J'adoptai une fonction de la forme suivante :

$$S = 1 + a \frac{t(t-e)}{(t+d)^2} = 1 + a \frac{(T-273^\circ)(T-e')}{(T-d'')^2}.$$

D'après cette formule, S tend vers un maximum, dont la valeur parfaitement définie est $1 + a$, et devient égal à 1 pour $t = e$. On objectera que S est infini pour $t = -d$; mais cette objection est-elle fondée? Je crois que non. A une certaine température au-dessous de 0° , l'eau ne peut continuer à exister comme eau; même à des températures relativement hautes, mais au-dessous de 0° , son existence est très précaire; le moindre ébranlement la fait congeler; elle doit être parfaitement purgée d'air; on n'a jamais pu dépasser une température de -20° . Il est impossible d'avoir de l'eau liquide à une température plus basse. Si nous trouvons des absurdités dans les qualités physiques, il n'y a pas à nous en étonner. En outre, la formule de Barnes ne représente pas la variation rapide de S au voisinage de 0° , la rapidité de cette variation ne décroît pas au-dessous de 0° , comme les recherches ultérieures l'ont confirmé. Aussi ne puis-je croire que des objections de ce côté soient acceptables.

J'ai calculé ensuite les paramètres d'une formule de ce genre, et trouvé que la formule

$$S = 1 + 0,0375 \frac{t(t-145^\circ)}{(t+72^\circ,5)^2} = 1 + 0,0375 \frac{(T-273^\circ)(T-418^\circ)}{(T-200^\circ,5)^2}$$

répondait admirablement aux résultats expérimentaux de M. Barnes, comme on peut s'en assurer par l'examen du tableau et du diagramme ci-joints.

Je demande à appeler l'attention sur quelques particularités, qui méritent bien une petite discussion. Dans l'analyse abrégée que je viens de donner des séries d'expériences, j'ai fait remarquer qu'à la septième série M. Barnes déclarait avoir vaincu les difficultés inhérentes à la présence de l'air dans le calorimètre, et qu'il avait grande confiance dans les résultats de cette série, spécialement pour les températures élevées; la sixième série surtout était recommandée à ce point de vue. Qu'on remarque la parfaite coïncidence de la ligne calculée avec les résultats de l'expérience! D'autre part, les résultats des recherches antérieures, aux environs de $t = 60^\circ$, ne satisfaisaient pas l'auteur; il signale spécialement à 67° un écart considérable, écart parfaitement

reconnaissable dans le diagramme. Aux températures de 10° à 45° , les expériences antérieures (séries I à VI) donnaient des résultats satisfaisants; le diagramme montre une parfaite coïncidence entre les données expérimentales et la ligne calculée. A 0° , les résultats expérimentaux accusent une variation rapide, si rapide que, même en divisant la ligne en deux parties, et en tâchant de représenter S en fonction de t par des expressions purement algébriques, M. Barnes n'a pas réussi à représenter cette variation. La formule que je propose la représente parfaitement; même le point au-dessous de 0° est en coïncidence exacte avec la courbe.

Lorsque je proposai cette formule à M. Barnes pour remplacer les siennes, il l'approuva complètement; il traita mes résultats de véritablement remarquables, et me félicita d'avoir trouvé une si bonne formule. M. Bertin s'exprima d'une manière aussi élogieuse.

J'écrivis à la Koninklijke Akademie van Wetenschappen pour lui demander son avis sur la fonction proposée, et lui dire que je prétendais représenter de la manière la plus satisfaisante les résultats des expériences les plus récentes et les plus exactes que l'on connût. Le Bureau de l'Académie soumit ma lettre à une commission composée de deux savants, MM. P. Zeeman, bien connu dans le monde scientifique par l'*effet Zeeman*, et M. Kamerlingh Onnes, tous deux professeurs de physique. La réponse ne fut pas encourageante comme celles de MM. Barnes et Bertin. Bien qu'un peu tardivement, ils ne niaient pas la coïncidence parfaite entre la formule et les résultats expérimentaux de Barnes; mais la formule proposée était condamnée pour les deux raisons que je vais discuter. En premier lieu, la formule était condamnée comme peu commode. Ceci est peu raisonnable; une formule ne doit pas être appréciée d'après sa maniabilité, mais d'après l'exactitude avec laquelle elle représente les phénomènes; c'est là le point essentiel, et la commodité ne vient qu'en seconde ligne; mais encore la question de la commodité est une question absolument subjective; moi, qui m'en suis servi pour des calculs étendus, je la trouve très commode, parce qu'elle est calculable par logarithmes, circonstance toujours appréciée par ceux qui ont besoin de faire de nombreux calculs. La formule permet en outre, comme nous le verrons, une intégration des plus faciles des fonctions de l'entropie de l'eau et de la vapeur. Qu'on juge si j'ai tort de prétendre que cette critique n'a pas le sens commun!

Une objection d'un caractère plus grave est la suivante. J'avais exprimé le désir d'avoir une vérification de la formule pour des températures au-dessus de 100° ; cette vérification venait d'avoir lieu par la publication des recherches expérimentales de M. Dieterici dans les *Annalen der Physik* du 11 avril de l'année précédente, lesquelles allaient de 0° à 300° . Elles se rapportent à la chaleur spécifique à la pression de saturation, qui jusqu'à 100° ne diffère qu'infinitement peu de celle sous pression constante, et qui à 260° ne diffère de la dernière que de $0^{\text{cal}},025$. Dieterici résume ses résultats de 0° à 25° dans

un tableau; au-dessus de cette température, S_t ou chaleur spécifique sous pression de saturation est donné par la formule

$$S_t = 0,99827 - 0,00010368t + 0,0000020736t^2.$$

C'est une expression du même genre que celle proposée par Regnault, et condamnable pour les mêmes raisons; d'ailleurs S est représenté, comme par Boscha et Barnes, par une ligne brisée; c'est déjà assez, pour qu'on puisse prétendre que ce n'est pas une représentation satisfaisante des phénomènes. Les recherches de Dieterici accusent encore un accroissement de S jusqu'à l'infini à la température critique; c'est vraiment remarquable! Seulement la formule proposée par lui n'est pas d'accord avec cette circonstance remarquable; elle donne $S = \infty$ pour $t = \infty$, et non pour $t =$ température critique.

La température critique d'un liquide est, on s'en souvient, celle à laquelle, même sous les plus fortes pressions, il ne peut rester liquide: à cette température élevée, il devient forcément vapeur. Partant des formules de Regnault, M. Bertin a fixé cette température pour l'eau à environ 700° ; mais, bien qu'il ne considère pas cette détermination comme très exacte, on peut admettre que la température critique est comprise dans la limite des températures praticables. Si la chaleur spécifique de l'eau devenait infinie à la température critique, il serait impossible de dépasser cette température pour toute matière d'où l'eau ne serait pas complètement absente, puisque aucune source de chaleur ne serait suffisante pour élever la température jusqu'au point critique; la capacité de la source calorifique serait toujours inférieure à la demande. Mais que voyons-nous journellement dans nos fonderies? Si, par malheur, malgré toutes les précautions prises, il reste des traces d'humidité dans les moules, arrive-t-il que la fonte ou l'acier liquide se solidifient brusquement à la coulée, et deviennent-ils plus froids que la glace? Ce devrait être le cas si effectivement la chaleur spécifique de l'eau vaporisée devenait infinie; elle devrait emporter une quantité de chaleur infinie.

Je demande à tous les ingénieurs, mes collègues, s'ils ont jamais rien vu de pareil?

D'autre part jamais physicien n'a réussi à refroidir de l'eau jusqu'à $-72,5$. L'impossibilité pratique est vérifiée théoriquement, d'autre part, par la formule. C'est à dessein que je relève cette circonstance, afin de bien montrer la différence entre les deux cas. L'un est parfaitement réalisable, et a lieu quotidiennement, malgré l'impossibilité théorique qui résulte de l'énoncé de Dieterici: une chaleur spécifique infinie à la température critique. La possibilité d'un côté, l'impossibilité de l'autre, constituent un désaccord, tandis que l'impossibilité pratique d'une eau à $-72,5$ est en harmonie parfaite avec l'impossibilité que lui attribue la formule.

Le résultat surprenant, si contraire à la pratique, auquel ont conduit les recherches de Dieterici, me causa d'abord un grand étonnement; mais il ne dura pas longtemps, parce que je me souvins d'une communication de

M. Barnes dans sa lettre du 23 mai 1904 : « I took up a recent paper by » Dieterici in the last number of *Annalen der Physik*, who finds the minimum » point at 30°. I do not like his method of measurement, nor do I think it » would yield accurate results. My own experience with the ice-calorimeter » shows it to be very untrustworthy. » Ceci n'est pas étonnant. Prenez le premier venu des livres de Physique élémentaire, et vous y trouverez énoncées des objections contre le calorimètre à glace; voyez par exemple le *Cours élémentaire de Physique* de Boutan et d'Almeida, deuxième édition (1863), c'est-à-dire vieille d'une quarantaine d'années; que trouvons-nous page 264, § 449? « Cette méthode (celle du puits de glace), imaginée » par Black, s'appuie sur une donnée expérimentale, à savoir qu'un kilo- » gramme de glace à 0° exige pour fondre, sans changer de température, » 79^{cal}, 2.... Cette méthode très simple n'est pas susceptible d'une grande pré- » cision, parce qu'il règne toujours une certaine incertitude sur l'estimation » du véritable poids de glace fondue... et l'on comprend qu'il soit très difficile » d'en tenir un compte exact. Pourtant l'erreur que l'on commet en esti- » mant le poids de glace fondue se trouve multiplié par 79,2 : elle est loin » d'être négligeable. »

Si la méthode est déjà condamnée pour des déterminations ordinaires, combien doit-elle manquer de la précision nécessaire, dans une recherche où il s'agit d'accroissement de $\frac{1}{10000}$ de calorie! Il n'est donc pas étonnant que, même aux basses températures, il y ait des écarts considérables entre les résultats de Dieterici et ceux de Barnes, par exemple que le minimum trouvé par ce dernier à 37°, 5 rétrograde de 7°, 5. Il n'est pas étonnant non plus qu'une formule basée sur les recherches de Barnes soit en désaccord avec les résultats de Dieterici. Mais surtout le paradoxe étonnant d'une chaleur spécifique infinie accompagnant une température parfaitement réalisable, s'explique par la base peu solide des expériences.

La discordance constatée par MM. les professeurs Zeeman et Kamerlingh Onnes, dans leur rapport à l'Académie, entre la chaleur spécifique sous pression de saturation à 220°, égale selon Dieterici à 1,068, et la valeur fournie par la formule proposée, 1,007, ne pourra donc rien prouver ni contre l'exactitude des recherches de Barnes, ni contre la formule proposée. La question de la chaleur spécifique à une température au-dessus de 100° reste ainsi une question ouverte, même après les recherches de Dieterici, qui n'ont qu'une valeur négative, étant basées sur une méthode condamnée par son manque de précision, et conduisant à des paradoxes physiques.

Je veux encore prouver, par une analogie, le caractère paradoxal d'une chaleur spécifique infinie accompagnant la température critique. L'eau est un liquide comme un autre, comme par exemple l'acide carbonique; la température critique de celui-ci est parfaitement connue. Un abaissement de la température est-il possible là, ou non? Nous savons que oui, ce qui serait nettement impossible si la chaleur spécifique devenait infinie. Les autres gaz

permanents se comportent de la même manière. Pourquoi l'eau ferait-elle exception?

Bref, les considérations précédentes m'ont convaincu que les recherches expérimentales de Dieterici ne peuvent affecter en rien les résultats obtenus par Barnes, et que la discordance avec la formule proposée ne prouve rien contre celle-ci.

Pour prouver la probabilité de la formule, je fais appel à mes collègues ingénieurs des constructions navales; qu'ils se souviennent des difficultés souvent éprouvées pour faire passer une latte par une série de points, lesquelles disparaissent totalement, si l'on ajoute deux ou trois plombs en dehors des points extrêmes; chaque élément d'une courbe continue contient les éléments de la ligne entière, si celle-ci est parfaitement continue, et que son rayon de courbure varie graduellement. De même dans la ligne élastique d'une barre suspendue sur deux appuis, et supportant une charge unique concentrée en un point, le rayon de courbure est représenté par une ligne brisée; si au contraire la barre reçoit une charge répartie sur sa longueur, le rayon de courbure est représenté par une courbe continue; dans ce cas un élément de la courbe la détermine sur toute sa longueur.

Ainsi, si entre -5° et 100° la forme de la courbe était déterminée mathématiquement, nous pourrions en déduire sa forme en dehors de ces deux limites. Malheureusement une recherche expérimentale, même la plus rigoureuse, telle que celle de M. Barnes, n'admet pas cette exactitude absolue; mais en considérant, outre la coïncidence absolue des résultats des expériences, là où les circonstances étaient favorables, avec ceux de la formule, le passage de la courbe, dans les parties moins bien déterminées, entre les séries des points maximum et minimum fournis par l'expérience, donne, d'une part, une grande valeur à la formule proposée, et démontre, d'autre part, l'exactitude d'expériences, qui admettent une représentation précise par une formule.

Si cependant ma supposition, que la chaleur spécifique n'offre plus que des ondulations après son minimum à $37^{\circ},5$, était incorrecte, si, au lieu de tendre vers un maximum après avoir passé pour la seconde fois par l'unité, la chaleur spécifique, après avoir dépassé un maximum, redevenait de nouveau égale à l'unité, une petite modification de la formule admettrait cette nouvelle circonstance; il suffirait d'employer la formule

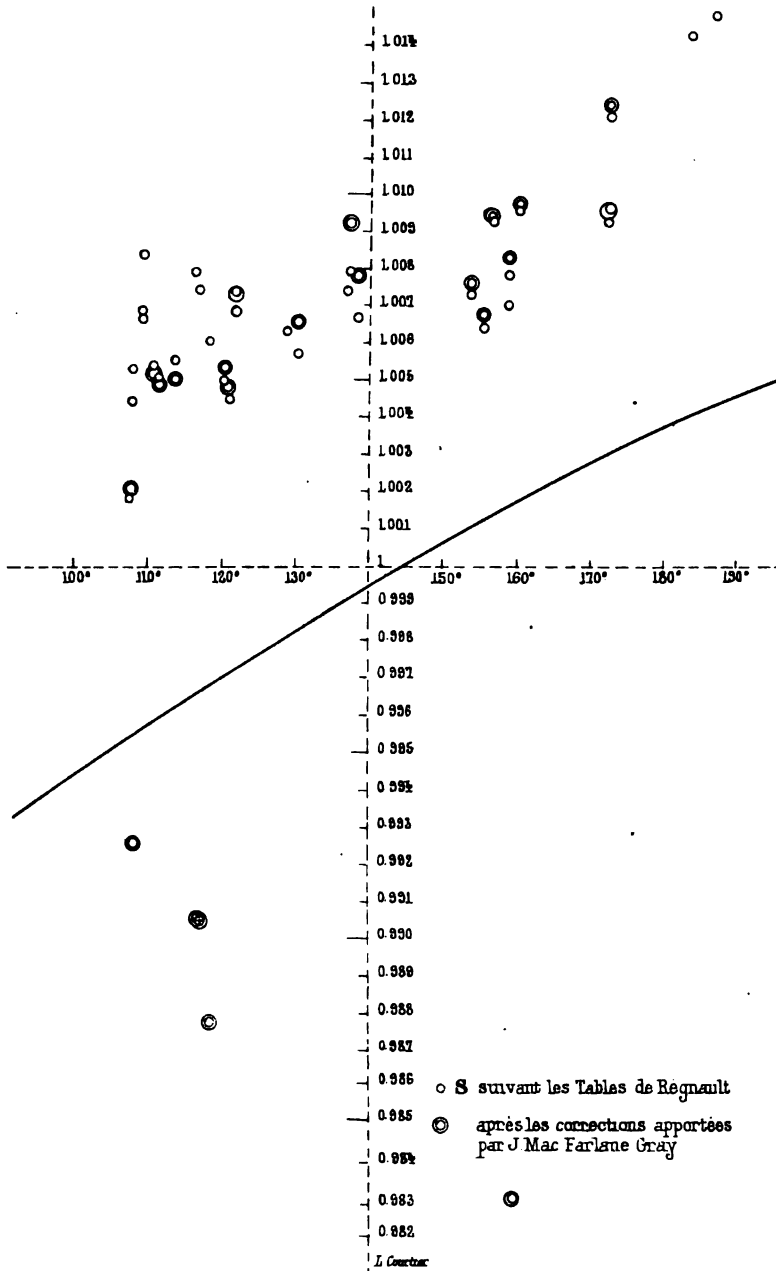
$$S = 1 + a \frac{t^2(t-c)(t-e)}{(t+d)^4}.$$

Mais, tant qu'on n'aura pas déterminé d'une manière satisfaisante la chaleur spécifique à des températures supérieures à 100° , je maintiens, pour les raisons indiquées plus haut, la formule proposée.

Dans un diagramme séparé (fig. 9) j'ai noté les chaleurs spécifiques selon Regnault à des températures supérieures à 100° , celles déduites des données

expérimentales par Mac Farlane Gray, et enfin la courbe proposée. Celle-ci

Fig. 9.



reste au-dessous des résultats expérimentaux, mais si près des derniers points

de Barnes, qu'elle ne doit pas s'éloigner beaucoup de la vérité; les résultats expérimentaux de Regnault, aussi bien que la courbe, accusent une augmentation de S entre 100° et 180° , mais les écarts mutuels des résultats expérimentaux sont si grands qu'on ne peut établir une loi les unissant; ils ne confirment ni n'infirmement la formule. On devra remarquer quelques-uns des treize cas de grands écarts résultant, ainsi que l'a démontré M. Gray, d'erreurs typographiques; les autres tombent en dehors des limites du papier.

Je communiquai à M. Bertin les objections des deux professeurs Hollandais contre la formule proposée, basées sur les recherches de Dieterici, en y ajoutant une contre-critique de ma part; malgré ces objections, M. Bertin m'a fortement conseillé la publication de mes recherches; avec un pareil encouragement, je ne pouvais hésiter plus longtemps; je vous présente donc ma formule, en la soumettant à vos réflexions scientifiques et critiques.

La connaissance de la chaleur spécifique de l'eau trouve une application directe dans le calcul de l'entropie de l'eau à l'état liquide et à l'état de vapeur. C'est en effet la détermination exacte de ces deux fonctions, qui a été la cause directe de cette correspondance cosmopolite. Je présenterai dans ce qui suit le calcul de l'entropie de l'eau et de la vapeur, basé sur la formule déduite des expériences de Barnes, et approuvée par cet auteur. L'étude de l'entropie, son application à l'analyse des diagrammes a déjà été le sujet de plusieurs mémoires présentés à l'Association, et la plupart de ses membres sont certainement familiers avec la nature de l'entropie. Peut-être quelques-uns ne le sont-ils pas, et c'est pour les encourager à l'étude de cette fonction, que je vais en expliquer aussi sommairement que possible la nature; elle facilite singulièrement l'étude de la thermodynamique; dans ce qui suit j'emprunterai les notations de M. Bertin.

La chaleur totale d'un corps, q , représente un certain travail disponible, en d'autres termes, une certaine quantité d'énergie potentielle; q multiplié par J , ou équivalent mécanique de la chaleur, donne ce travail exprimé en kilogrammètres; q est une fonction de $T = t + 273^\circ$, ou température absolue, pour parler la langue de la thermodynamique; c'est cette partie de la chaleur interne qui est sensible, qui rayonne et se transmet par conductibilité. Mais un travail est le produit d'une force par un chemin parcouru; ainsi, si s représente la surface d'un piston, sur laquelle agit, avec une pression p par unité de surface, un gaz ou un liquide; ps est la force qui met en mouvement le piston; le chemin parcouru dans un temps dt étant dx , le travail dépensé sera $psdx$, ou bien, si l'on représente par v le volume engendré par le piston, celui-ci sera égal à sx ; pendant le temps dt on aura $dv = sdx$. Le travail dF dépensé pendant le temps dt sera donc représenté par la formule

$$dF = p dv.$$

La quantité q , laquelle représente, en calories, un travail, a été assimilée

par Clausius au produit de deux quantités, dont l'une est la chaleur externe sensible T , et l'autre une quantité nouvelle, à laquelle il a donné le nom d'*entropie*, et que l'on représente généralement par la lettre grecque Φ . Cette quantité, que l'on considérerait comme une fonction arbitraire, créée par l'imagination d'un savant dans son cabinet, a en vérité, comme nous le verrons plus loin, une existence tout à fait réelle. La formule qui sert de base pour le calcul de Φ est la suivante :

$$dq = T d\Phi.$$

Si dans cette formule on se rend bien compte de la signification des termes, on découvre facilement la nature de l'entropie.

Comme nous le savons déjà, q représente un travail exprimé en calories. T , dont il faut spécialement nous occuper, est la température absolue d'un corps; on peut y voir la quantité de chaleur contenue dans un corps quelconque, qui est sensible, qui se transmet par radiation ou par conduction. C'est alors une quantité de même nature que q , et, q représentant un travail dynamométrique, T en représente un également. S'il en est ainsi, la formule qui donne dq va manquer d'homogénéité. Par suite, dans cette formule, T change de caractère : de même que, dans le calcul infinitésimal, la valeur d'un angle est représentée non par un certain nombre de degrés, mais par la longueur de l'arc d'une circonférence de rayon égal à l'unité, de même T doit être interprété autrement que dans la langue courante; nous devons remplacer T par une quantité telle que $Td\Phi$ représente un travail. Pour cela il faut remplacer T par une grandeur qui, non seulement lui soit proportionnelle, mais qui soit mesurée par les mêmes nombres. Ce sera par exemple le volume occupé à la température absolue T par une quantité d'air, qui occuperait 273 unités de volume à la température de la glace fondante. T représentant ainsi dans la formule de dq un volume de fluide parfaitement défini, si Φ représente la pression en fonction de T , $Td\Phi$ représentera, aussi bien que dq qui lui est égal, un travail différentiel.

J'ignore si cette interprétation est la vraie, mais c'est ainsi que je me suis toujours représenté la fonction $Td\Phi$, et l'analogie avec certains cas connus du calcul infinitésimal m'a encouragé à m'arrêter à cette représentation. Cependant j'invite les experts en thermodynamique à donner, si elle existe, une interprétation plus rigoureuse de l'expression

$$dq = T d\Phi.$$

De cette expression, on en déduit pour l'entropie

$$d\Phi = \frac{dq}{T}, \quad \text{et} \quad \Phi = \int \frac{dq}{T}.$$

La quantité totale de chaleur nécessaire pour transformer 1^{kg} d'eau prise à 0° centigrade en vapeur saturée à la température t est, d'après Regnault,

$$\lambda = 606,5 + 0,305t;$$

pour amener l'eau à la température t , en la laissant liquide, il suffit de la quantité

$$l = \int S dt;$$

$\lambda - l$ représente donc la chaleur latente de vaporisation.

L'entropie de l'eau sera, d'après les expériences de Barnes,

$$\Phi_l = \int \frac{dq}{T} = \int \left[1 + a \frac{(T-b)(T-e')}{(T-d')^2} \right] \frac{dT}{T} = \int \left[\frac{dT}{T} + \frac{a(T-b)(T-e')}{T(T-d')^2} dT \right],$$

$$\int \frac{dT}{T} = \log_n T + \text{const.}$$

Pour intégrer le second terme de l'intégrale, posons

$$\frac{(T-b)(T-e')}{T(T-d')^2} = \frac{A}{(T-d')^2} + \frac{A_1}{T-d'} + \frac{B}{T},$$

nous en déduisons

$$T^2 - (b+e')T + be' = AT + A_1(T-d')T + B(T-d')^2 = (A_1+B)T^2 + (A-A_1d'-2Bd')T + Bd'^2.$$

Égalant les coefficients des mêmes puissances de T dans les deux membres de l'équation, nous obtenons

$$A_1 + B = 1,$$

$$A - A_1d' - 2Bd' = -b + e',$$

$$Bd'^2 = be';$$

d'où

$$B = \frac{be'}{d'^2},$$

$$A_1 = 1 - \frac{be'}{d'^2},$$

$$A = d' - \frac{be'}{d'} + \frac{2be'}{d'^2} - (b+e') = d' + \frac{be'}{d'} - (b+e').$$

L'intégration devient maintenant facile. Nous trouvons

$$\Phi_l = \frac{d'^2 + abe'}{d'^2} \log_n T + a \frac{d'^2 - be'}{d'^2} \log_n (T-d') - a \frac{d' + \frac{be'}{d'} - b + e'}{T-d'} + \text{const.}$$

Après substitution des paramètres

$$a = 0,0375,$$

$$b = 273^\circ,$$

$$e' = 418^\circ,$$

$$d' = 200,5,$$

tenant compte de ce que, pour $t = 0$, $\Phi = 0$, nous trouverons, après réduction,

$$\Phi_t = 1,106441 \log_n(t + 273^\circ) - 0,06926722 \log_n(t + 72^\circ, 5) - 2,94926 \frac{1}{t + 72^\circ, 5} - 5,8693019,$$

avec les données numériques

$$\log 1,106441 = 0,0439314; \log 0,06926722 = 8,8405278 - 10.$$

L'intégrale $\int S dt = l$ se trouve d'une manière tout à fait analogue. En tenant compte que, pour $t = 0$, on a $l = 0$, on trouve

$$l = t + 0,0375t - \frac{207,109375}{(t + 72,5)^2} - 10,875 \log_n(t + 72^\circ, 5) + 46,58466,$$

avec les données

$$\log 207,109375 = 2,29470325; \log 10,875 = 1,03642925.$$

Comme la température de l'eau n'augmente pas, quand elle passe de l'état de liquide à l'état de vapeur, l'entropie augmente dans la vaporisation, T restant constant, de

$$\Phi_r = \frac{l}{T} = \frac{l}{t + 273^\circ}.$$

L'entropie totale de la vapeur saturée est

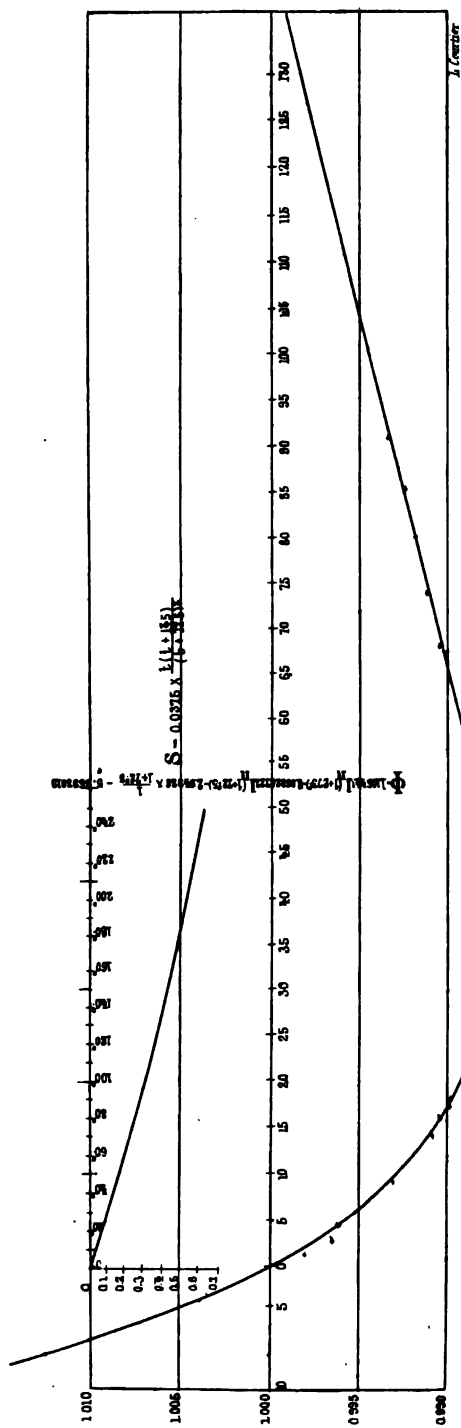
$$\Phi_\lambda = \Phi_t + \Phi_r.$$

Ces formules ont servi à établir le tableau ci-joint, qui donne S, ainsi que les entropies d'eau et de vapeur en fonction de t . Les diagrammes des figures 10 et 11 indiquent graphiquement les relations de ces diverses quantités.

Avant de terminer cette étude, j'appelle l'attention du lecteur sur les différences presque inappréciables, qui existent entre les valeurs de Φ calculées avec la chaleur spécifique basée sur la formule de Regnault, ou basée sur les recherches de Barnes.

Comme je l'ai dit au début de cette étude, la question présente un intérêt plus académique que technique; mais, en engageant cette correspondance avec notre Vice-Président, j'ignorais ce qu'il en serait en définitive; au contraire, le caractère tout à fait différent de la courbe des S (Regnault) et de la courbe des S (Rowland), celle de Barnes ne m'étant pas connue, me faisait alors prévoir des écarts plus grands que ceux que j'ai constatés. En outre mes collègues reconnaîtront volontiers qu'une grande exactitude importe

Fig. 10.



aussi bien dans les chiffres de la pratique que dans ceux du laboratoire. D'ailleurs ces recherches fournissent un résultat appréciable : elles démontrent, par la petitesse des écarts constatés, qu'on n'a pas à redouter que les recherches basées sur l'entropie, faites par notre distingué collègue

Fig. 11.

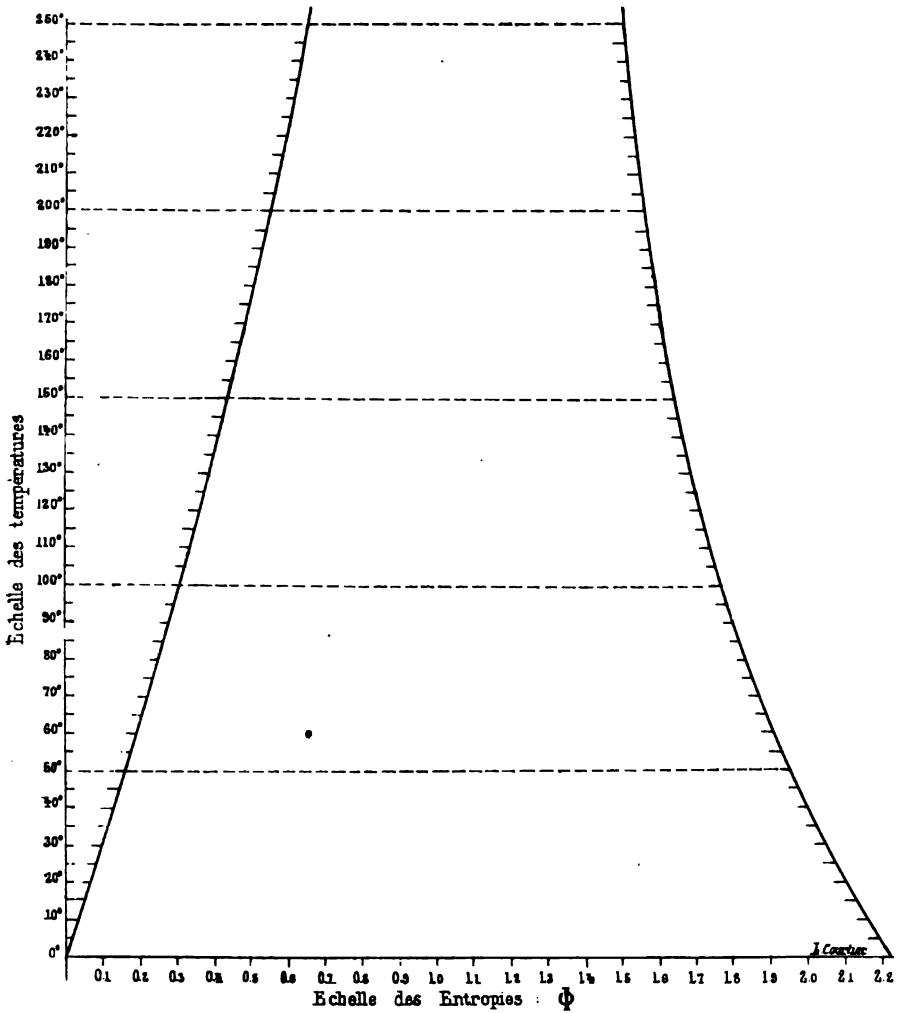


Diagramme des entropies de l'eau et de sa vapeur saturée en fonction de t ou température centigrade.

M. Boulvin, et par d'autres savants, manquent à un degré appréciable d'exactitude.

En terminant, je recommande à mes lecteurs l'étude de la chaleur spécifique de l'eau au-dessus de 100° , afin qu'on puisse vérifier la formule pour

températures qui ont l'importance la plus considérable en thermodynamique pratique, c'est-à-dire, pour le moment, dans la région comprise entre 100° et 250°.

Avant de terminer je tiens à exprimer ma reconnaissance à M. Rouet, ingénieur à Paroong Koeda, qui m'a aidé dans la correction des pages qui précèdent.

TABLEAU de la chaleur spécifique de l'eau en fonction de la température centigrade, suivant les recherches expérimentales de H.-T. BARNES, comparée à celle résultant de la formule proposée, avec indication des séries des expériences.

t.	S.	SÉRIE.	t.	S.	SÉRIE.	t.	S'.	REMARQUES.
-10°	1,01488		30°	0,989790		100°	0,994329	Formule qui a servi pour calculer S : $S = 1 + 0,0375 \times \frac{t(t-150)}{(t+72,5)^2}$
- 8	1,01103		30,54	0,987673	II	105	0,995015	
- 5	1,00617		31,22	0,987383	III.	110	0,995665	
- 2	1,00670 (1)		31,40	0,987403	II.	115	0,996320	
0	1,02218		32,17	0,987463	II.	120	0,996961	Les diverses séries datent de :
1,35	1,000000		32,26	0,987613	VII.	125	0,997395	
2,68	0,997943	VI.	32,81	0,987543	II.	130	0,998317	
4,28	0,996523	VI.	34,46	0,987213	I.	135	0,998844	
5	0,996123	I.	35	0,987507		140	0,999419	I.
8,06	0,995622		38,76	0,987523	III.	145	1,000000	
10	0,993043	VI.	40	0,987556		150	1,000568	
13,79	0,992562		41,02	0,987623	II.	155	1,001123	
15	0,990743	I.	45	0,987777		160	1,001465	II.
15,71	0,990283	VI.	45,49	0,987683	II.	165	1,002194	III.
17,09	0,989723	VI.	49,68	0,987513	II.	170	1,002710	IV.
17,69	0,989733	I.	50	0,988130		175	1,003211	V.
20	0,989043	I.	51,02	0,987693	VI.	180	1,003706	VI.
20,12	0,988853	VI.	54,57	0,988093	III.	185	1,004185	VII.
20,18	0,988993	VI.	54,61	0,989103	II.	190	1,004653	VIII.
20,45	0,988623	VI.	55	0,988381		195	1,005110	
20,92	0,988783	V.	59,80	0,989413	II.	200	1,005555	(1) Expériences de H.-T. Barnes
22,16	0,988693	II.	60	0,989110		205	1,005990	et H. Lester Cooke.
24,20	0,988363	I.	65	0,989686		210	1,006414	
25	0,988166	I.	67,52	0,988873	III.	215	1,006828	
28,01	0,987973	I.	68,21	0,990203	VIII.	220	1,007232	
28,52	0,987853	IV.	70	0,990305		225	1,007626	Pour t = ∞, S devient maximum.
28,77	0,987893	IV.	74,05	0,990933	VII.	230	1,008012	S _{max} = 1,0375 calorie.
29,09	0,988133	I.	75	0,990951		235	1,008388	Pour t = - 72°, 5, S devient ∞.
29,11	0,987913	I.	80	0,991615		240	1,008755	
29,18	0,987953	VII.	80,38	0,991653	VII.	245	1,009114	
29,21	0,988043	I.	85	0,992290		250	1,009464	
29,43	0,988063	I.	85,60	0,992303	VII.			
29,47	0,988073	III.	90	0,992970				
29,92	0,987403	V.	91,55	0,993243	VII.			
			95	0,993651				

TABLEAU COMPARATIF des entropies de l'eau et de sa vapeur saturée
selon les recherches expérimentales de REGNAULT et de BARNES.

t.	Φ_l d'après		Φ_v d'après		Φ_g d'après	
	Regnault.	Barnes.	Regnault.	Barnes.	Regnault.	Barnes.
0.....	0,0000	0,0000	2,2228	2,2216	2,2228	2,2216
20.....	0,0708	0,0702	2,0235	2,0290	2,0943	2,0992
40.....	0,1371	0,1352	1,8496	1,8594	1,9867	1,9946
60.....	0,1992	0,1964	1,6963	1,7090	1,8955	1,9054
80.....	0,2580	0,2541	1,5605	1,5749	1,8185	1,8290
100.....	0,3137	0,3088	1,4389	1,4544	1,7526	1,7637
120.....	0,3668	0,3617	1,3295	1,3466	1,6963	1,7083
140.....	0,4171	0,4103	1,2305	1,2485	1,6479	1,6588
160.....	0,4660	0,4576	1,1402	1,1593	1,6062	1,6169
180.....	0,5126	0,5028	1,0580	1,0779	1,5706	1,5807
200.....	0,5576	0,5462	0,9819	1,0030	1,5395	1,5492
220.....	0,6009	0,5878	0,9129	0,9341	1,5138	1,5219

t	Φ_l	Φ_v	$\Phi_\lambda = \Phi_l + \Phi_v$	t	Φ_l	Φ_v	$\Phi_\lambda = \Phi_l + \Phi_v$
0	0,0000000	2,22161165	2,22161165	130	0,3847511	1,2663903	1,6811414
5	0,0180724	2,1710891	2,1891615	135	0,3983874	1,27217675	1,67046415
10	0,0357452	2,1292504	2,1649956	140	0,4103121	1,2853385	1,658881625
15	0,05307075	2,0748190	2,12788975	145	0,4222786	1,2954408	1,6477194
20	0,0702207	2,0209061	2,0922271	150	0,4341936	1,3028811	1,6370717
25	0,08671225	1,9815939	2,07135815	155	0,4459988	1,3084105	1,6268893
30	0,1032680	1,9415534	2,0448214	160	0,4576073	1,3159290	1,6168463
35	0,1193097	1,8998239	2,0191336	165	0,4690182	1,3222221	1,6072403
40	0,1352095	1,8593549	1,9945644	170	0,4804108	1,3276184	1,5980592
45	0,1509058	1,8200900	1,9709958	175	0,4916656	1,3321654	1,5891310
50	0,1664823	1,7819768	1,9485591	180	0,5027977	1,335956	1,5806933
55	0,1814041	1,7449726	1,9263767	185	0,5138380	1,3389000	1,5725280
60	0,1964292	1,7090306	1,9054598	190	0,5247870	1,3415621	1,5653491
65	0,2116114	1,6741037	1,8857651	195	0,5355243	1,343926	1,5585926
70	0,2257037	1,6400405	1,8657462	200	0,5461758	1,3461311	1,552311
75	0,2399508	1,6071452	1,8470960	205	0,5567280	1,3482186	1,546466
80	0,2541230	1,57489005	1,83901305	210	0,5671835	1,3502672	1,5409507
85	0,2681005	1,5437816	1,8118821	215	0,5775489	1,3522867	1,5348356
90	0,2817788	1,5133657	1,7951445	220	0,58781865	1,3542757	1,5289435
95	0,2953793	1,4866160	1,7818433	225	0,5979859	1,3562344	1,5233556
100	0,3087866	1,4548954	1,7638820	230	0,6080561	1,3581634	1,5180935
105	0,32201195	1,4267844	1,74879635	235	0,6180344	1,3600695	1,5131947
110	0,3352072	1,3993846	1,7345918	240	0,6279149	1,3619516	1,5085465
115	0,3482265	1,3726865	1,7208915	245	0,6376910	1,363810	1,4940031
120	0,3617219	1,3466130	1,7083349	250	0,6473810	1,36564575	1,4809475
125	0,3728364	1,3211931	1,6940295				

$$\Phi_l = 1,106441 \log_e (t + 273^\circ) - 0,06926722 \log_e (t + 71^\circ,5) - 2,94926 \frac{1}{1 + 72^\circ,5} - 5,8693019;$$

$$\Phi_v = \frac{606,5 - 0,7325t + \frac{207,109375}{(t + 72^\circ,5)^3} + 10,875 \log_e (t + 72^\circ,5) - 46,58466616}{t + 273^\circ};$$

$$\log 1,106441 = 0,0439314,$$

$$\log 0,06926722 = 8,8405778,$$

$$\log 207,109375 = 2,39470325,$$

$$\log 10,875 = 1,03642025.$$

COMPTE RENDU

D'UN

VOYAGE D'ÉTUDES EN ALLEMAGNE

JUIN-JUILLET 1906,

PAR M. LEDIEU,
Ingénieur civil des Constructions navales,
Titulaire d'une bourse de voyage (Fondation Canet).

Régions visitées.

Berlin, Stettin, Copenhague, Kiel, Hambourg, Brême, Dusseldorf.

Caractères principaux des ateliers et chantiers Allemands.

Presque tous les chantiers visités sont de construction récente. Les caractères communs aux ateliers et aux chantiers sont :

1° La grandeur, tant des bâtiments que des machines-outils et des pièces travaillées.

2° Le perfectionnement des appareils de transport et de levage, leur puissance et leur vitesse.

3° La rapidité d'usinage des pièces obtenue par des outils à grande avance : tours-revolver et fraises en grand nombre, machines automatiques, machines à étamper, presses hydrauliques, machines à mouler, ébarbeuses à air comprimé, etc.

4° La propreté, le caractère pratique de l'installation, et souvent même le luxe des principaux bâtiments (*fig.* 2, 3, 6, 7).

5° L'importance donnée à l'hygiène, au bien-être et même à l'agrément des ouvriers, tels que :

Aération en été et chauffage en hiver de tous les ateliers, installation de

lavabos, bains, douches à eau chaude et froide, vestiaires spacieux, propres et bien aérés, souvent séparés complètement des ateliers (*fig. 4*).

Cantines et restaurants fournissant une nourriture saine et proprement présentée, à des prix tout à fait modiques.

Repos coupant la longueur de la journée de travail. Quelquefois un jardin est à la disposition des ouvriers pendant ces repos, ou bien encore une vaste salle avec une scène, dans laquelle ils peuvent donner concerts et représentations.

La main-d'œuvre ne m'a pas paru être meilleur marché qu'en France; la journée de travail n'est pas plus longue, rarement de 12 heures; elle est le plus souvent de 10 et quelquefois même de 8 heures.

Les prix peu élevés de certains travaux exécutés en Allemagne ne peuvent donc être réalisés que par le travail en série, pratiqué sur une grande échelle, et par le perfectionnement des machines-outils exécutant le travail toujours plus rapidement, en permettant d'employer moins d'ouvriers.

Remarques générales sur la construction.

Machines. — La construction des machines marines m'a paru très bien comprise, les organes principaux étant exécutés avec le plus grand soin, et les organes accessoires souvent établis avec une très grande simplicité, et au meilleur marché possible.

A remarquer les importantes dimensions des pièces employées, comme arbres porte-hélice, plaques de fondation en peu de pièces, et quelquefois en un seul morceau pour les petites machines, cylindres à grand diamètre (beaucoup de machines à triple expansion n'ayant que trois cylindres).

Le presse-étoupes métallique m'a paru très employé.

Les navires de guerre et les paquebots rapides ont le calage Schlick, qui paraît donner la plus grande satisfaction; c'est peut-être une des causes pour lesquelles on a peu employé les turbines pour la propulsion des navires, les ingénieurs Allemands prétendant pouvoir annuler totalement les vibrations des machines par ce procédé de calage.

Chaudières. — Pour les cargos et paquebots, la seule chaudière que j'aie vue employer est la chaudière cylindrique, ordinairement à trois foyers, souvent à tirage activé et à économiseur.

Pour la marine de l'État, on va employer exclusivement, même pour les cuirassés, la chaudière à petits tubes Schulz, genre Yarrow, à deux foyers parallèles. Cette chaudière, déjà à l'essai sur des croiseurs et des cuirassés, a donné les résultats les plus satisfaisants (*fig. 23*).

Coques. — Presque tous les bordés de carènes sont à clins dans tous les sens; tous les bâtiments rapides et ceux de l'État ont des quilles de roulis;

l'arrière en croix a été adopté sur tous les paquebots à deux hélices que j'ai vus.

Les navires de guerre que j'ai pu voir m'ont paru d'une complication un peu excessive, ce qui pourrait nuire au bon fonctionnement des appareils pendant le combat, et ce qui, en tout cas, est une grande gêne pour l'habitabilité du bâtiment, par le peu de place laissé disponible sur les ponts, dans les entreponts, et pour les logements de l'équipage et des officiers.

Installations des chantiers de construction de navires. — Malgré la méthode Allemande d'installation d'un chantier, qui consiste à le munir des appareils les plus puissants, les plus vastes et les plus perfectionnés, je n'ai vu que le Germania Werft, à Kiel, possédant des cales entièrement couvertes.

Les cales que j'ai vues sont de dispositions assez différentes, et montrent bien la tendance actuelle pour la construction de ces cales :

1° Aux chantiers Burmeister et Vain, à Copenhague, Blohm et Voss et Reiherstieg, à Hambourg, on trouve des cales de construction du type Anglais, avec mât de charge, et sans aucune superstructure.

2° Au Germania Werft, de Kiel, des cales entièrement couvertes.

3° Aux chantiers Vulkan, de Stettin, on trouve des cales sans toiture ni murailles fermées, mais avec superstructures et ponts roulants, construction déjà plus simple.

4° Aux chantiers Vulkan, de Vegesack, toutes les cales sont découvertes; les deux premières sont séparées par une muraille en tôle supportant un chemin de roulement, sur lequel se meuvent deux grues roulantes.

5° Aux mêmes chantiers sur les autres cales, et aux chantiers Weser, à Brême, toute superstructure a disparu, et les manœuvres sont faites par des grues-tours, roulant sur des rails établis au niveau même de la cale; c'est cette construction, très économique et toute nouvelle, qui paraît donner le plus de satisfaction.

Grue-Tour. — La grue-tour, dont on voit la photographie et le dessin (Pl. IX et fig. 1), se compose essentiellement d'une colonne métallique d'environ 30^m, en haut de laquelle peut pivoter un bras horizontal d'une vingtaine de mètres de portée. Sur ce bras peut se mouvoir un treuil analogue à ceux des ponts-roulants.

L'extrémité inférieure de la grue se compose d'une arche d'une grandeur suffisante pour permettre la circulation de deux wagons chargés suivant le gabarit des chemins de fer. L'arche repose elle-même sur des roues.

Le long de la cale et de chaque côté, on dispose deux systèmes de voie ferrée, l'un pour la grue, et l'autre pour les wagons apportant les pièces à monter.

Les types destinés aux chantiers Weser, à Brême, et Vulkan, à Vegesack, sont construits par la Société Benrather Maschinenfabrik, à Dusseldorf.

Fig. 1.



Les charges que peut manœuvrer cette grue sont les suivantes :

Poids.	Distance à l'axe de la grue.
^{ix} 2,750.....	^m 20
3.....	19
4.....	14,80
5.....	12,10
6.....	10

Pour obtenir une bonne stabilité de la grue, même par les vents les plus violents, les deux caissons inférieurs et le caisson contre-poids sont remplis de béton. Cette grue est mue par quatre moteurs électriques. (Le courant électrique est de 500 volts au Vulkan et de 220 volts au Weser.)

Le moteur du treuil de levage est de 36^{chx}; il a les vitesses suivantes :

Poids.	Mètres par minute.
^{ix} 6,000.....	20 à 22,50
3,000.....	40 à 45
2,500.....	45 à 50

Le tambour d'enroulement est en fonte, et un frein d'arrêt à commande électrique y est monté directement.

Le chariot portant le treuil est mû, aux chantiers Vulkan, par un moteur de 6^{chx}, qui peut lui imprimer une vitesse de 15^m à la minute et, aux chantiers Weser, par un moteur de 10^{chx} donnant au chariot-treuil une vitesse de 30^m à la minute.

Le pivotement du bras horizontal est obtenu par un moteur de 9^{chx} situé au pied du fût; la vitesse à l'extrémité du bras est de 75^m par minute.

Le moteur de propulsion de la grue est un moteur de 60^{chx}; le chemin de roulement de la grue étant parallèle à la cale, a une pente de $\frac{1}{10}$ aux chantiers Weser et de $\frac{1}{80}$ aux chantiers Vulkan. Il peut communiquer à la grue une vitesse de déplacement de 60^m par minute. Ce moteur est monté sur un arbre horizontal, qui commande à la fois des roues motrices de chaque côté de la grue. Un frein électromagnétique est monté sur cet arbre; un second frein peut être mû électriquement ou à la main du poste de commande des appareils, d'une plateforme inférieure, et même du bas de la grue. La grue est supportée par huit roues en acier moulé; la plus grande pression sur une roue est de 25^{tx}; quatre de ces roues sont motrices.

Le prix d'une de ces grues est d'environ 50000 marcs, soit 62500^{fr}, et la Société de Benrath demande 6 mois pour l'établissement d'un de ces appareils, et 1 mois de supplément par chaque appareil en plus.

Il peut être intéressant de comparer approximativement les dépenses d'établissement de cales de constructions avec les trois modes suivants :

1° Deux cales couvertes;

2° Deux cales séparées par une muraille en tôlerie supportant des grues pivotantes;

3° Deux cales desservies par des grues-tours.

Pour deux cales parallèles d'une longueur de 150^m environ, de 30^m de large et de 30^m de haut, les prix seraient approximativement :

1° Cale couverte, 4 ponts roulants..	600 000	à	650 000	marks
2° Muraille et 4 grues à pivot :				
Muraille.....	150 000			
4 grues.....	400 000			
			550 000	
3° 4 grues-tours.....	200 000			

Cales. — Les cales ne présentent pas, en général, les constructions en maçonnerie que l'on voit souvent en France. Les plus anciennes, de construction Anglaise, sont simplement établies sur pilotis; les plus modernes ont des fondations de béton; la partie la plus élevée est, en général, au niveau du sol; l'extrémité la plus basse est creusée dans le sol, et se trouve quelquefois au-dessous du niveau de l'eau; dans ce cas, l'extrémité de la cale est fermée par un petit bateau-porte analogue à ceux fermant les bassins de radoub.

Toutes les cales ont une canalisation électrique pour les appareils de manœuvre, les outils et l'éclairage, une canalisation à air comprimé pour l'outillage pneumatique, et quelquefois même une canalisation d'eau sous pression pour des riveuses hydrauliques portatives.

Cependant, le rivetage et le matage à air comprimé ne semblent pas avoir donné toute la satisfaction qu'on en attendait. Dans la plupart des chantiers, les rivets de conjugaison, les rivets d'assemblage des pièces de membrures sont posés par marteaux et tas pneumatiques, les œuvres mortes sont souvent aussi rivées au marteau pneumatique, mais presque partout, pour le bordé de carène, ainsi que pour les tôles de chaudières, le rivetage et le matage sont faits à la main.

Outillage. — En ce qui concerne l'outillage des chantiers, on remarque un grand nombre de cisailles poinçonneuses de grande puissance; en général, ces machines sont mues directement par un moteur électrique, ce qui permet de les placer au point le plus commode, souvent en dehors des bâtiments et tout près des cales.

On remarque aussi des machines à équerriser les profilés; elles sont placées entre les fours à réchauffer et les plaques à cintrer, ce qui évite une chaude,

le profilé passant par la machine à équerriser avant d'être amené sur la plaque. Ces machines se composent de rouleaux de laminage orientables, l'angle d'équerrage étant donné à chaque instant par une aiguille mobile sur un cadran gradué.

On remarque encore de très puissantes machines à ployer les tôles; ces machines servent surtout à donner les fortes courbures, que présentent souvent les tôles de quille (A de la figure 5).

Force motrice. — Dans tous les chantiers que j'ai visités, la force est fournie par une station centrale électrique, dans laquelle se trouvent souvent les machines de compression pour l'air et l'eau.

Les machines à vapeur actionnant ces stations sont, en général, d'un type très moderne, et installées avec les plus grands perfectionnements. Ce sont presque toujours des machines à triple expansion verticales ou horizontales à soupapes, et souvent même des turbines.

Les générateurs sont souvent de la maison Allemande Babcock et Wilcox, avec économiseurs, et souvent aussi avec surchauffeurs de vapeur. J'ai vu plusieurs chaudières munies de grilles automatiques de différents systèmes; la maison Babcock et Wilcox en construit une d'un système analogue à la grille tournante Taillefer, qui fonctionne bien.

Outillage de mise à sec. — Je n'ai vu que très peu de bassins de radoub, peu de slips, mais un très grand nombre de docks flottants. Ces appareils ont une grande puissance; en général, ils reçoivent la force, sous forme électrique, d'une station située à terre; d'autres fois ils portent eux-mêmes des machines à vapeur dans un des caissons verticaux.

On a cherché à donner à ces appareils une grande vitesse de fonctionnement; ainsi la maison Blohm et Voss, de Hambourg, qui possède le plus grand et puissant dock du monde, peut, à l'aide de cet appareil, mettre à sec un navire de 22000^{tx} en 2 heures (*fig. 25 et 26*); la même maison construit un nouveau dock plus puissant encore, qui pourra mettre à sec un navire de 35000^{tx}.

Description des établissements visités.

Les ateliers et chantiers que j'ai visités peuvent se classer en cinq groupes :

- 1° Construction de machines-outils;
- 2° Construction de machines à vapeur et de pièces de machines;
- 3° Construction d'appareils électriques;
- 4° Construction d'appareils de levage;
- 5° Construction de navires.

1° Construction de machines-outils.

1. — *L'usine de MM. Ludwig Lowe et C^{ie}, à Berlin* (spécialité de petites machines-outils).

Cette usine, fondée il y a une dizaine d'années, située dans un faubourg de Berlin, est construite et organisée avec tous les perfectionnements possibles.

Elle occupe une superficie de 65000^m², emploie 1400 ouvriers et 1200 machines.

La force motrice est donnée aux machines sous forme de courant électrique continu à 550 volts; les dynamos sont conduites par 3 machines à vapeur verticales à triple expansion, donnant ensemble une puissance de 2400^{chev}.

L'usine présente un aspect assez particulier, elle se compose de plusieurs bâtiments en briques et fer tous semblables, séparés par de larges rues pavées dans le milieu, et bordées d'herbe soigneusement entretenue. L'herbe coûte moins cher que le pavé, et ne donne pas de poussière (*fig. 2 et 3*) (¹).

Fig. 2.

Les ouvriers travaillent 9 heures 3 quarts, et sortent 2 heures plus tôt le samedi. Le contrôle se fait au moyen d'une pendule automatique. Chaque ouvrier possède une fiche qu'il fait timbrer par cette pendule à son entrée et à sa sortie de l'usine.

(¹) Les lettres A de la figure 3 indiquent les réservoirs à eau; beaucoup d'usines Allemandes emploient ainsi leurs cheminées pour supporter les réservoirs.

Les vestiaires des ouvriers sont situés dans les sous-sols, ils se composent

Fig. 3.

d'armoires métalliques grillagées et bien aérées. Les lavabos sont alimentés

Fig. 4.

d'eau chaude et froide (fig. 4). Des réfectoires spacieux sont également à leur disposition, ainsi que des étuves pour rechauffer leurs repas.

Chaque ouvrier touche par jour un demi-litre de thé fabriqué à l'usine même d'une façon très avantageuse, car un seul homme suffit à surveiller les machines qui, automatiquement, lavent les bouteilles et les emplissent. La production de thé peut être de 5000^l par jour.

Une infirmerie très bien installée est ouverte en permanence; un aide-médecin s'y tient à la disposition des ouvriers, et un médecin y vient faire une visite d'une heure chaque jour.

Les conditions hygiéniques des ateliers sont assurées par une double ventilation, l'une amenant de l'air frais en été et chaud en hiver, l'autre aspirant les poussières et limailles des machines travaillant à sec et des forges.

Chaque ouvrier qui a l'idée d'un perfectionnement à apporter soit à une machine, soit au travail en général, peut en faire l'objet d'une note, qu'il dépose dans une boîte spéciale disposée dans chaque atelier; il touche une prime quand son idée est jugée bonne. Il touche également une prime quand il relève une erreur sur un dessin; dans ce cas, le dessinateur qui a commis l'erreur n'est pas recherché.

Il existe dans l'usine un magasin de pièces types; il est formellement interdit aux dessinateurs de changer quoi que ce soit à ces types, qui deviennent des modèles, et dont un stock considérable est toujours préparé d'avance.

A remarquer :

Fonderie. — La fonderie comporte un atelier d'analyse chimique des fontes; les pièces sont nettoyées au jet de sable, et décapées dans un bain spécial; les pièces de fonte ainsi préparées usent moins les outils qui les travaillent ensuite.

Ateliers. — Fraises pour faire les vis-mères de tours parallèles. Ces machines sont automatiques, un seul homme peut en surveiller quatre ou six.

Tours-revolvers verticaux, permettant le centrage absolu et rapide des pièces.

Les arbres des machines-outils sont rectifiés à la meule, et sont ensuite vérifiés par deux calibres, dont l'un ne doit pas pouvoir entrer, et l'autre doit entrer sans jeu.

Les ateliers sont desservis par des ponts-roulants électriques ayant une vitesse de 60^m à la minute.

II. - Usine de M. E. Schiess, à Dusseldorf
(spécialité de grosses machines-outils).

L'usine fut fondée en 1866 par M. Schiess, qui en est encore actuellement propriétaire.

La construction des machines-outils remonte à 1869, et depuis cette époque l'usine a livré environ 9000 machines.

Les terrains non bâtis occupent 5^{ha}, 50^a, et les constructions 2^{ha}, 50^a. 900 ouvriers et 100 dessinateurs y sont occupés. Le travail continue de jour et de nuit, les ouvriers sont disposés en deux équipes travaillant 10 heures.

La force motrice, de 800^{ch}, est fournie sous forme de courant continu à 240 volts.

La fonderie, très importante, peut fondre 600^{tx} de fonte par mois, et faire des pièces de 50^{tx}. Des fours à sécher peuvent être mis en communication avec les moules par des tuyaux souples.

La fonderie est desservie par

4 ponts-roulants de.....	20 ^{tx}
2 " 	15
1 " 	10

Des machines servent à mouler les roues jusqu'à un diamètre de 3^m.

La forge est moins importante, mais emploie cependant 4 pilons à vapeur.

L'ajustage occupe une superficie de 5500^m², et 400 machines-outils dont :
160 tours de 0^m, 130 à 1^m de hauteur de pointes, permettant de tourner des pièces jusqu'à 17^m de longueur;
32 raboteuses, dont les plus grandes permettent d'usiner des pièces de 12^m de long, de 4^m de haut et de 4^m de large;
7 limeuses, 8 mortaiseuses, 20 perceuses radiales verticales, 23 perceuses et fraises horizontales pour pièces de 3^m de haut et de 6^m de large;
30 fraiseuses différentes, 16 machines à tailler les engrenages droits et 7 pour les engrenages coniques.

Les plus gros tours fabriqués sont :

1° Un tour horizontal de 2^m de hauteur de pointe, et de 36^m de long, permettant d'usiner des arbres-manivelles de 100^{tx};

2° Un tour à arbres de 1^m, 50 de hauteur de pointe, de 50^m de long;

3° Un tour horizontal de 10^m de diamètre entre les porte-outils, et de 3^m de haut; ce tour pèse 200^{tx}, et coûte 100000^{fr}; en ce moment la maison exécute 8 tours semblables, le délai de livraison de ces 8 tours est de 18 mois.

La plus grande raboteuse a 10^m de long, 4^m de haut et 4^m de large, elle ne dépense, comme puissance, que 30 ampères $\times$ 140 volts.

Les ateliers sont desservis par des ponts-roulants se mouvant à des vitesses de 62^m à la minute.

Les outils travaillent avec les vitesses suivantes :

Raboteuses :

9^m à la minute, course travaillante;

30^m à la minute, course de retour;

Copeaux d'acier de 150^{mm}³.

Tours :

Vitesse circonférentielle, 30^m à la minute;
Copeaux de 50^{mm}.

Fraises pour la fonte :

Vitesse de 60 ^{mm} à la minute;	} 1 ^{re} passe.
Enfoncement de 15 ^{mm} ;	
Vitesse de 150 ^{mm} à la minute;	} 2 ^e passe.
Enfoncement de 2 ^{mm} ;	

Perceuses :

Vitesse circonférentielle, 20^m à 24^m à la minute;
Avance dans l'acier doux, 0^{mm}, 2 par tour.

Dans la photographie ci-jointe (*fig. 5*) on remarque, en A, une machine à

Fig. 5.

cintrer les tôles de quilles, en B, la grande raboteuse décrite plus haut, et en C, un tour vertical.

2^e Machines à vapeur et organes de machines.

1. — Usine Schwartzkopf, à Berlin.

L'usine est située à Berlin même. De construction assez ancienne, elle rappelle assez nos usines Françaises.

La force motrice est le courant électrique; il est engendré par deux machines Schwartzkopf d'encombrement très réduit.

Spécialités : Compresseurs d'air pour torpilles et tubes lance-torpilles, pièces de locomotives, pompes mues électriquement.

La place est fort restreinte, et très habilement utilisée.

La forge a deux pilons de 400^{kg}, et une presse de 1000^{kg}.

La fonderie est outillée pour fondre de petites pièces de fonte telles que les cylindres de locomotives; on y remarque un grand nombre de machines à mouler.

Un atelier est spécialement aménagé pour la fabrication des machines à imprimer *Linotype*; l'usine peut en livrer jusqu'à 30 par mois.

La main-d'œuvre est comparable à ce qu'elle est en France, les manœuvres gagnent 5^{fr}, les ouvriers ordinaires peuvent se faire de 7^{fr} à 8^{fr} par jour.

II. — Établissement de Wildau.

Spécialités de cet établissement :

Locomotives à vapeur surchauffée de 80°.

Outillage à air comprimé pour les mines.

J'ai remarqué une locomotive à air comprimé de 12^{chx}, d'encombrement fort réduit, 1^m,25 × 1^m,50 × 2^m,50; le réservoir d'air peut assurer une marche de 30 minutes.

Cette usine occupe 1200 ouvriers travaillant 10 heures, avec deux repos de 15 minutes et un de 1 heure à midi pour le repas. Ces ouvriers ont à leur disposition une salle admirablement décorée, dans laquelle ils peuvent donner concerts et représentations, et où ils trouvent des repas à des prix très modérés.

La force motrice est fournie par deux machines à vapeur verticales de 400^{chx}, actionnant des dynamos à 220 volts. L'installation des générateurs, entièrement moderne, réduit considérablement le nombre des chauffeurs. Le charbon arrivant par canal est pris par des élévateurs, qui le conduisent, à l'aide d'un transporteur, dans des silos. Un second élévateur le transporte des silos à une vis sans fin, qui le distribue automatiquement au-dessus de trémies, lesquelles le conduisent enfin sur une grille automatique.

Le décrassage de la grille se fait à la main, les chaudières sont du système Stein Muller. L'installation des générateurs comporte aussi un indicateur du tirage de la cheminée et un appareil pour en analyser les gaz. L'eau d'alimentation est épurée et filtrée avant de se rendre aux générateurs.

L'outillage, très perfectionné, comporte beaucoup de machines à percer électriques et à air comprimé; on peut se servir de ces machines pour tarauder les trous d'entretoises de chaudières.

III. — *Usine Borsig, à Tegel, près de Berlin.*

Les deux photographies ci-jointes donnent une idée assez exacte de la grandeur et du luxe de l'installation de cette usine.

La figure 6 représente les bureaux ; à droite on aperçoit la porte d'entrée monumentale.

La figure 7 représente la principale rue de l'usine.

Fig. 6.

Elle fut fondée en 1837, et s'est fait une spécialité de chaudières et de locomotives.

Elle occupe une superficie de 60000^m².

On y emploie beaucoup les outils pneumatiques pour mater les chaudières, et tarauder les trous d'entretoises.

La force motrice est de 1950^{ch} ; elle est distribuée dans les ateliers sous forme de courant électrique continu de 230 volts.

On remarque aussi un grand nombre d'outils de fonderie pneumatiques, tels que : dameuses, cribleuses, ébarbeuses.

Le nombre des locomotives fabriquées en 1902 est de 5000.

IV. — *Usine J. Pintsch.*

Cette usine comporte deux établissements, l'un à Berlin, fabriquant spécialement les lampes de wagons système Pintsch, l'autre à Furstenwalde, fabriquant particulièrement des réservoirs soudés.

L'établissement de Berlin a une superficie de 7000^m², les bâtiments qui y sont construits ont cinq étages reliés par des ascenseurs et des monte-charges.

1

Fig. 2

Fig. 8.

1100 ouvriers, travaillant 10 heures, avec deux fois 15 minutes de repos et 1 heure pour le repas de midi, y sont employés.

On remarque un nombre considérable de machines à étamper, de manière qu'on évite presque complètement les petites pièces fondues en laiton ou en bronze. J'ai vu, en particulier, des raccords en laiton à huit pans, d'un diamètre intérieur d'environ 30^{mm}, qui sont estampés.

On remarque aussi des machines automatiques à tarauder les trous borgnes de petits diamètres, 2^{mm} environ. Ces outils, à renversement de marche instantané, s'arrêtent automatiquement deux fois, et reviennent légèrement en arrière pendant le taraudage, afin d'éviter la rupture des outils.

L'usine peut livrer 2500 appareils d'éclairage par semaine.

L'établissement de Furstenwalde occupe une superficie de 138400^m². La force motrice est produite par des machines à gaz à l'eau. Ce gaz est préparé dans de vastes gazogènes. Il alimente, en outre, de petites forges portatives, qui servent à faire les soudures des réservoirs et récipients.

Dans cette usine se trouve également un atelier confectionnant des compteurs à gaz pour le commerce; ces compteurs sont entièrement en fer-blanc soudé. L'outillage, pour ce genre de travail, se compose d'un grand nombre de machines à étamper.

La photographie ci-jointe (*fig. 8*) représente les ateliers où se confectionnent ces compteurs à gaz.

V. — *Oberbilker Stahlwerk, à Dusseldorf.*

Cette usine est une des plus anciennes fournissant de grosses pièces de forge pour la Marine. Elle fut fondée en 1870; elle occupe maintenant 630 ouvriers travaillant 10 heures et demie.

Les terrains ont une superficie de 100000^m². Les bâtiments, relativement anciens et d'aspect modeste, sont tenus avec une grande propreté.

Tout l'acier employé est fabriqué à la maison même, dans trois fours Martin de 30^t. Les plus gros lingots à forger pèsent 40^t. Ces fours sont desservis par des ponts roulants de 40^t. Pour réduire la perte sèche due à la masselotte, l'acier est coulé dans un moule spécialement résistant, fretté de 19 anneaux d'acier de 200^{mm} × 150^{mm}. Ce moule est transporté sous une grande presse hydraulique de 3500^t, qui permet d'employer le lingot en entier.

La forge est outillée d'une presse de 2000^t, et de cinq marteaux-pilons de 1^t, 5 à 15^t. On peut y forger des pièces de 20^t.

L'ajustage est spécialement outillé pour le travail de ces grosses pièces d'acier. On y remarque un grand nombre de tours : l'un, de 0^m, 50 de hauteur de pointes, mesure 40^m de long. Un autre peut forer des arbres de 25^m de long.

Deux machines à vapeur horizontales à soupapes de 120^{ch}, et une de 300^{ch} fournissent du courant continu à 110 volts.

Parmi les travaux exécutés par cette usine, on peut remarquer un arbre creux d'une seule pièce de 45^m de long.

Le travail est exécuté avec une vitesse remarquable.

En 6 jours, cet atelier a livré un arbre porte-hélice de 305^{mm} de diamètre, de 6^m,300 de long, avec trois chemises en bronze, écrou et clavette d'hélice, et en 5 jours, un arbre manivelle de 324^{mm} de diamètre, de 571^{mm} de rayon de manivelle.

VI. — *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.*

Établissement de Berlin, fabriquant les turbines Curtis. Cet établissement possède un outillage très perfectionné.

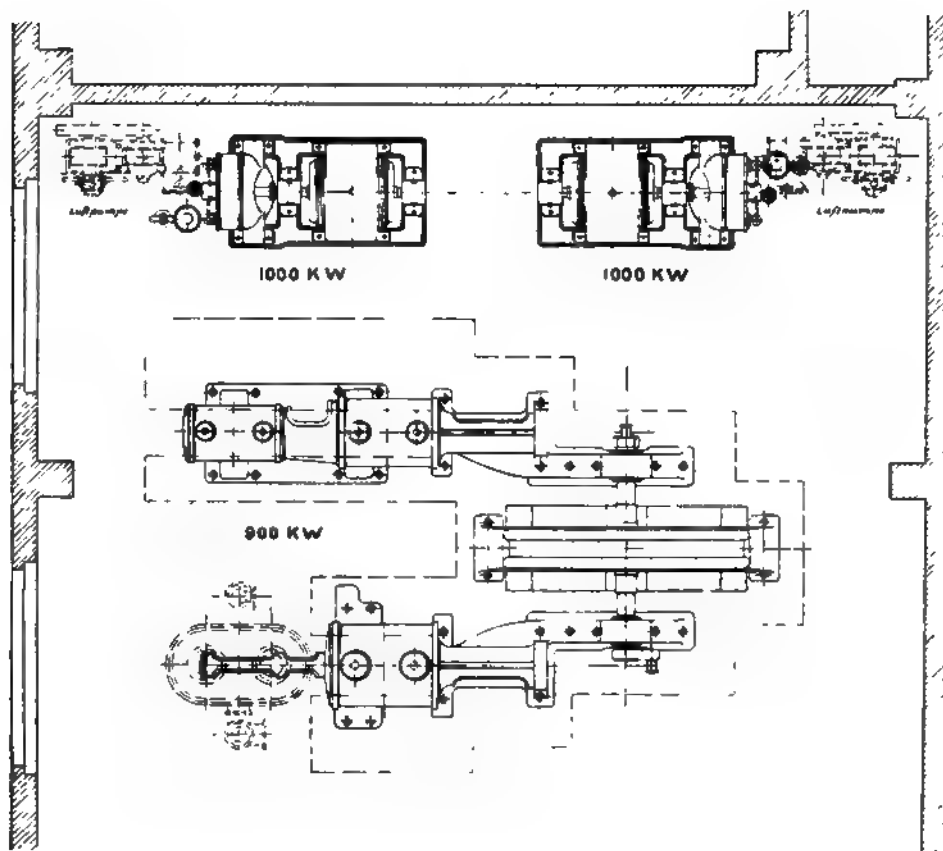
La photographie ci-dessous (*fig. 9*) montre les disques des turbines du plus

Fig. 9.

grand et du plus petit modèle; les disques sont en acier, et les ailettes en brouze sont maintenues, à leur partie supérieure, dans un anneau en acier, auquel elles sont rivées.

La plus petite a une puissance de 3^{chx} pour groupes électrogènes

Fig. 10.



de 2 kilowatts. La plus grande est de 3000^{chx}, et tourne à 600 tours; ce sont des turbines de ce genre qui forment l'appareil moteur du *Kaiser*.

J'ai vu un grand nombre de groupes électrogènes, l'encombrement en est excessivement restreint, le dessin ci-contre le montre clairement (*fig. 10*). La figure 11 représente un groupe électrogène de 300 kilowatts.

Cette usine possède une installation complète pour mesurer exactement les puissances et les consommations des appareils livrés.

Fig. 11.

Les types de 1000 kilowatts à 3000 tours, avec un vide de 90,8, dépensent 7^{ks},5 d'eau par kilowatt-heure. Les pompes à air de ces groupes sont mues électriquement, et ont un excellent fonctionnement.

VII — *Haniel et Lueg, à Dusseldorf.*

Maison fondée en 1873, continuellement agrandie et perfectionnée depuis. Elle occupe une superficie de 1150^{ha}, et emploie de 1700 à 2000 ouvriers, travaillant 10 heures, avec 1 heure 30 minutes de repos.

Un jardin avec bancs, tables et toitures de feuillage est spécialement arrangé pour les ouvriers; en outre, ils ont une vaste salle à manger avec une étuve pour réchauffer leurs repas.

Station centrale. — La station centrale se compose de machines à pilon compound : deux sont en tandem et donnent 300^{chx} à 150 tours; deux autres donnent 800^{chx} à 150 tours. Ces machines actionnent des dynamos, qui four-

nissent du courant continu à 115 volts; elles sont très peu encombrantes, et paraissent très soignées; elles ont été construites par la maison.

Dans toute l'usine se trouvent : 1° une canalisation d'eau sous pression pour actionner de nombreux treuils; 2° une conduite d'air comprimé à 8^{kg}.

Les générateurs de vapeur sont de type ancien, sauf une chaudière Babcock et Wilcox à grille tournante automatique, qui paraît donner les meilleurs résultats.

Fonderie d'acier. — La fonderie d'acier, installée dans un vaste hall desservi par des ponts roulants, se compose de trois fours Martin pouvant fondre des lingots de 60^{tx} et des pièces de 50^{tx}.

La maison emploie le procédé Riemer pour réduire les masselottes à n'être plus que 3 à 5 pour 100, au lieu de 25 pour 100 (la masselotte, pendant le refroidissement du lingot, est maintenue à très haute température par un four à gaz spécial).

Fonderie de fonte. — La fonderie de fonte est très vaste, et divisée en différentes parties ayant chacune sa spécialité :

- 1° Tuyaux de fonte avec machine spéciale à faire les moules;
- 2° Anneaux de cuvelage pour puits;
- 3° Fonte de grosses pièces jusqu'à 40^{tx}.

La fonderie est desservie par trois ponts roulants de 80^{tx}. On y remarque des dameuses et ébarbeuses à air comprimé.

Forge. — La forge peut usiner des pièces de 50^{tx}; elle est outillée de deux grosses presses hydrauliques, dont l'une peut donner une pression de 2500^{tx}.

Ajustage. — A remarquer des machines-outils de très grandes dimensions et entièrement modernes. On peut remarquer également les dimensions des pièces qui y sont travaillées: j'ai vu un bâti de machine à gaz d'une seule pièce pesant 36^{tx}.

Magasins. — Les magasins sont très vastes, et desservis d'une manière très pratique par des ponts roulants et de nombreuses voies de chemins de fer.

Spécialité de la maison. — Machines à travailler les tôles jusqu'à 45^{mm} d'épaisseur et 4^m de large.

Presses à forger hydrauliques et avec multiplicateur à vapeur, pouvant donner jusqu'à 1000^{tx}.

Outillage pour laminoirs.

Grues, ponts, ascenseurs de canaux.

Outillage pour mines. (La production d'anneaux de cuvelage a été en 1902 de 16740^{tx}.)

Pièces en acier coulé, étambots de navires pesant 59^{tes}.

Arbres de navires finis, ébauchés ou bruts, de 47^{tes}.

Les photographies représentent quelques-unes de ces pièces (*fig. 12 et 13*).

Fig. 12.

VIII. — *Königliche Materialprüfungsamt à Zehlendorf.*

Cet établissement s'occupe uniquement de l'analyse des matières premières, et de la mesure de leur résistance : il comprend des ateliers d'essais pour les matériaux de fer et d'acier, de bois, de papier, de toile, de ciment, etc., un laboratoire chimique et un laboratoire de métallographie.

Dans cette usine ne sont employés que quelques ouvriers pour conduire les machines : le personnel se compose surtout d'ingénieurs et de chimistes.

La force motrice est fournie par deux machines à vapeur horizontales com-

pound tandem de 90^{ch}, fournissant du courant continu à 220 volts. De plus, deux pompes de compression d'eau avec accumulateurs automatiques donnant 200^{kg} ou 400^{kg} de pression.

Fig. 13.

Les tuyautages et conduites électriques sont installés dans le sous-sol; la figure 14 en donne une idée claire.

Dans l'atelier des machines d'essais des éprouvettes de petites dimensions, on remarque vingt machines à traction lente mues hydrauliquement, avec enregistreur des pressions et des temps.

Dans l'atelier d'essais des grosses pièces, on remarque une machine verticale pouvant donner un effort de 600000^{kg}, et une autre machine horizontale (fig. 15) pour efforts de traction et compression, pouvant donner 500000^{kg}; un grand nombre de machines à colonne de mercure, une machine pour mesurer les allongements élastiques avec miroir et rayon lumineux, pouvant estimer le $\frac{1}{1000}$ de millimètre, des machines pour mesurer les efforts de torsion et flexion, des marteaux pendulaires pour les essais de choc, etc. Pour les essais de choc des grosses pièces, un atelier spécial possède une machine pouvant laisser tomber un mouton de 1^{re} de 12^m de hauteur.

L'atelier de métallographie comporte des machines à polir, un petit laboratoire permettant d'employer certains réactifs, différents microscopes et appareils de photographie et de projection, un four électrique à lames de

Fig. 14.

Fig. 15.

platine entourant un tube de porcelaine (un courant de 8 ampères $\times$ 220 volts suffit pour donner une température de 1400°), un appareil pour enregistrer les courbes de température pour l'étude des points critiques.

Un procédé qui a donné de bons résultats consiste à chauffer lentement deux demi-cylindres, l'un du métal qu'on veut analyser, l'autre de porcelaine; ces éprouvettes sont reliées à des galvanomètres; comme la porcelaine ne présente pas de point critique, il arrive un moment où la température du métal reste stationnaire, celle de la porcelaine continuant à varier. Cette différence de température occasionne une différence de potentiel qu'on mesure à l'aide d'un galvanomètre. Un autre galvanomètre donne la température correspondante.

Cet établissement comporte encore de nombreux ateliers pour l'étude d'autres matières utilisées dans l'industrie.

3° Construction d'appareils électriques.

I. — *Mix et Genest, à Berlin.*

Cette usine fabrique des téléphones et de petits appareils électriques, mais pas d'appareils intéressant spécialement la construction navale. On y remarque un grand nombre de machines automatiques. Un seul ouvrier suffit pour surveiller cinq ou six de ces machines.

Beaucoup de pièces en bois, comme par exemple les plaques d'attache des petites sonneries électriques d'appartement, sont remplacées par des plaques en tôle emboutie.

La force motrice est de 300^{chx}.

II. — *Siemens et Halske.*

Cette maison a trois usines à Berlin et aux environs :

1° Une usine de petits appareils électriques, téléphones, transmetteurs d'ordres, télégraphes, etc.;

2° Une usine pour la fabrication des câbles, sous la raison sociale Siemens et Schuckert;

3° Une usine dans les faubourgs de Berlin pour la construction des dynamos et des gros appareils électriques.

La première usine est installée dans la banlieue de Berlin; elle est construite avec un grand luxe, et couvre 6^{ha}.

Le principal bâtiment a sept étages; il a dû être construit sur pilotis, étant donnée la nature du sol très sablonneux. Cette usine a été construite en 1904 et 1905. Les cours sont pavées, avec côtés en herbe.

4000 ouvriers, dont 1000 femmes, y sont employés. Depuis la fondation de la maison, les ouvriers ont la journée de 8 heures, avec 30 minutes pour le repas de midi, et deux fois 15 minutes de repos. Ils sont payés aux pièces pour la plupart.

L'usine met à leur disposition de vastes salles à manger établies dans les combles; une cuisine chauffée à la vapeur fournit une nourriture saine et substantielle aux prix suivants :

Une soupe	15 ^{pf}	soit	^{fr} 0,19
Portion viande et légumes	25	»	0,31
Bœuf	5	»	0,0625

Les ingénieurs ont aussi un restaurant très confortable dans l'usine même.

Généralement, chaque pièce d'un appareil est fabriquée dans un même atelier, et est entièrement finie dans cet atelier; de là, cette pièce passe au magasin, du magasin au montage, puis à l'essai et à l'expédition.

Ces ateliers sont outillés de la façon la plus perfectionnée; un atelier, fabriquant les vis des petits appareils, en livre 40000 par jour. En général, un ouvrier surveille cinq machines.

Parmi les spécialités de la maison, on peut remarquer :

1° Un téléphone haut parleur; cet appareil est établi spécialement pour relier les machines et chaufferies aux postes de commandement. On l'entend distinctement, et l'on peut se faire entendre dans une pièce fermée, en se trouvant à 5^m de l'appareil, et en lui tournant le dos. Dans le cas de bruit particulièrement fort dans la pièce, l'appareil est muni de deux récepteurs qu'on peut appliquer aux oreilles.

2° Des transmetteurs d'ordres avec vérification et répétition de l'ordre, mus électriquement.

3° Des téléphones, télégraphes, machines pour rayons X, etc.

Siemens et Schuckert. — La force motrice de cette usine alimente également les ateliers Siemens et Halske, qui sont mitoyens.

Deux machines à vapeur verticales à triple expansion, chacune de 600^{chx}, et deux turbines Zoelly, chacune de 2000^{chx} à 1500 tours, engendrent du courant continu à 110 volts.

La fabrication des câbles ne présente rien de particulier. Comme isolant, on tend à remplacer la soie par le coton pour les fils moyens, la soie ne subsistant que pour l'isolement des tout petits fils des électros de sonnettes. Les gros câbles sont isolés au caoutchouc, et surtout au papier et au goudron, et sont quelquefois revêtus d'une gaine en plomb.

J'ai vu une machine envelopper de petits câbles d'environ 10^{mm} de diamètre dans une feuille métallique repliée sur elle-même et agrafée.

Siemens et Halske, à Berlin. — Spécialité : Dynamos, moteurs de tramways, rhéostats, tableaux de distribution, moteurs pour la marine, appareils divers, rupteurs, etc.

Cette usine a été construite en 1888; elle occupe 45000^{m²}, et emploie 3600 ouvriers travaillant 10 heures.

La force motrice est fournie par 6 machines :

3	de	100 ^{chx}
1	de	650
1	de	1000
1	de	350

Les trois premières machines engendrent du courant continu à 110 volts pour l'éclairage, les trois autres du courant continu à 220 volts pour la force motrice.

Les ouvriers ont organisé dans l'usine un restaurant coopératif pouvant fournir 1800 portions par jour, au prix moyen de 0^m,25 (0^{fr},31). Tout est dirigé par les ouvriers eux-mêmes.

La fabrication de l'usine est très importante; elle produit 100 moteurs de tramways par mois; ces moteurs sont de 30^{chx} à 550 volts.

En ce moment, on essaye des paliers à billes pour moteurs de 5^{chx}, qui paraissent donner de bons résultats.

J'ai vu des interrupteurs à huile de 1000 à 36000 volts, et même un de 50000 pour transport de force à 50^{km}, en outre, une foule d'autres appareils dont le détail entraînerait trop loin.

III. — *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft.*

Cette Société possède deux établissements pour la construction des appareils électriques, un à Berlin pour les dynamos alternateurs et moteurs, et un autre à Schöneweide, près de Berlin, pour la fabrication des câbles.

Les établissements de Berlin couvrent une superficie de 87000^{m²}, dont 47000^{m²} sont bâtis, et occupent 8000 ouvriers travaillant 8 heures.

La force motrice est donnée par :

1^o Deux machines à vapeur horizontales à soupapes de 800^{chx} chacune, et actionnant chacune un alternateur triphasé; la vitesse de rotation est de 107 tours, ce qui paraît énorme, vu le diamètre de l'alternateur.

Le voltage est de 2750 volts, qu'un transformateur ramène à 190.

2^o Une turbo-dynamo Ridler Strumpf de 500 kilowatts, tournant à 3500 tours.

3^o Une turbine Curtis (système A. E. G.), beaucoup moins encombrante, de 1000 kilowatts, et tournant à 3500 tours.

Les chaudières Babcock et Wilcox sont à grilles articulées.

Les spécialités sont :

Des dynamos de $\frac{1}{2}$ à 5^{chx}; l'usine en livre 120 par jour. Elle livre par mois 800 dynamos de 7 à 100^{chx}.

Des alternateurs de toutes dimensions; en particulier, un alternateur à

renversement, de marche très rapide, destiné à conduire un train de laminoirs.

Parmi les machines-outils on remarque :

Un tour vertical pouvant tourner des pièces de 15^m de diamètre ;

Un marbre de 200^m², sur lequel on peut fixer des machines à raboter, à fraiser, à percer, etc. ; des rails pénètrent sur ce marbre, ce qui facilite beaucoup le transport des pièces lourdes.

Un chemin de fer souterrain à trolley conduit dans une autre partie de l'usine, où sont construits les tableaux de distribution, et de petites machines spéciales, comme fers à souder électriques, lampes à arc, etc.

On essaye en ce moment de remplacer le marbre des tableaux de distribution par de la tôle recouverte d'un isolant spécial.

La main-d'œuvre est très chère. Dans cette usine, les manœuvres gagnent par jour de 4 à 5 marks (5^{fr} à 6^{fr}, 25), et les ouvriers jusqu'à 12 marks (15^{fr}).

Les machines-outils débitent à peu près pour 2000 marks (2500^{fr}) de tournure et limaille de cuivre par jour.

Établissement de Schöneweide. — Cette usine fut fondée en 1897. Elle couvre un espace de 103000^m², et occupe 8000 ouvriers travaillant 8 heures et demie. Le travail dure de 6^h du matin jusqu'à minuit. Les ouvriers sont partagés en deux équipes.

L'usine comporte sept ateliers principaux :

- 1° Fer et acier ;
- 2° Laminoirs ;
- 3° Câbles à haute tension ;
- 4° Câbles de téléphones ;
- 5° Caoutchouc ;
- 6° Ajustage, étampage ;
- 7° Voitures automobiles.

Les machines-outils sont mues par 1200 moteurs, d'une force totale de 4000^{ch}.

Le courant électrique triphasé à 6000 volts est reçu d'une usine voisine.

Il entre par jour 60^{tx} de cuivre à l'usine.

Cette usine a construit pour l'Angleterre un câble devant conduire du courant triphasé à 20000 volts.

Je n'entre pas dans d'autres détails sur ces usines ; cela m'écarterait trop de la construction navale.

4° Appareils de levage.

1. — *Benrather Maschinenfabrik, à Benrath, près de Dusseldorf.*

Cette maison, située directement sur la ligne de chemin de fer de Dusseldorf à Cologne, était, lorsque je l'ai visitée, en travaux considérables d'agrandissement et de perfectionnement. Elle occupe actuellement 750 ouvriers.

Elle s'est fait une spécialité d'appareils de levage. Les deux photographies ci-jointes représentent une grue électrique, construite pour les chantiers Howaldt, à Kiel (*fig.* 16 et 17) (1).

La force électrique est produite sous forme de courant continu à 220 volts par des dynamos mues par trois machines à vapeur, une grosse machine à pilon et à soupapes compound de 550^{chx}, et deux plus petites de 135^{chx}.

Les chaudières, du type fixe, ont 200^{m²} de surface de chauffe, et sont timbrées à 10^{kg}.

Tous les rivets sont mis mécaniquement, soit à la riveuse hydraulique quand c'est possible, soit à la riveuse pneumatique. Les trous qui ne peuvent être poinçonnés sont percés à la machine pneumatique, quoique cette machine donne moins de satisfaction que la perceuse électrique; la puissance des compresseurs d'air est de 60^{chx}, et l'air a une pression de 6^{kg}.

Le magasin est spécialement aménagé pour le déplacement rapide des pièces lourdes; un grand pont roulant de 30^m de long, de 9^m de haut et d'une puissance de 15^{ix}, peut le parcourir d'un bout à l'autre.

Les ateliers de montage sont très vastes. J'ai vu un nouvel atelier en construction, qui mesurera 200^m de long.

L'outillage est très puissant et entièrement moderne. J'ai remarqué une machine à forger les têtes d'entretoises, et une foule de fraises à tailler et à finir les roues dentées.

Parmi les travaux en cours d'exécution, on remarque :

1° Deux grues-tours d'un modèle plus puissant que ceux décrits dans la première partie de ce mémoire, pour les chantiers de Vlissingen, en Hollande. Ces grues pourront porter 2^{ix} à une distance de 30^m du centre de rotation; elles auront une hauteur de 35^m.

2° Une installation de cales avec ponts roulants, pour le Japon. Ces cales doivent avoir 200^m de long, 32^m de large et 25^m de haut. Les ponts roulants desservant ces cales seront :

pour la première :

1 de 20^{ix}
1 de 30
4 de 5

et, pour la seconde :

1 de 30^{ix}
6 de 5^{ix}

II. — Anciens établissements *Bechman et Keetman*, à Duisbourg.

Cette usine, fondée en 1872, a deux ateliers : l'un, dans le centre de la ville, est de construction ancienne; l'autre, situé près du vaste port sur le

(1) Cette grue est la plus puissante du monde; elle a une puissance de 150^{ix}, et une portée de 42^m, 20. Elle a été essayée à 200^{ix}.

Fig. 16.

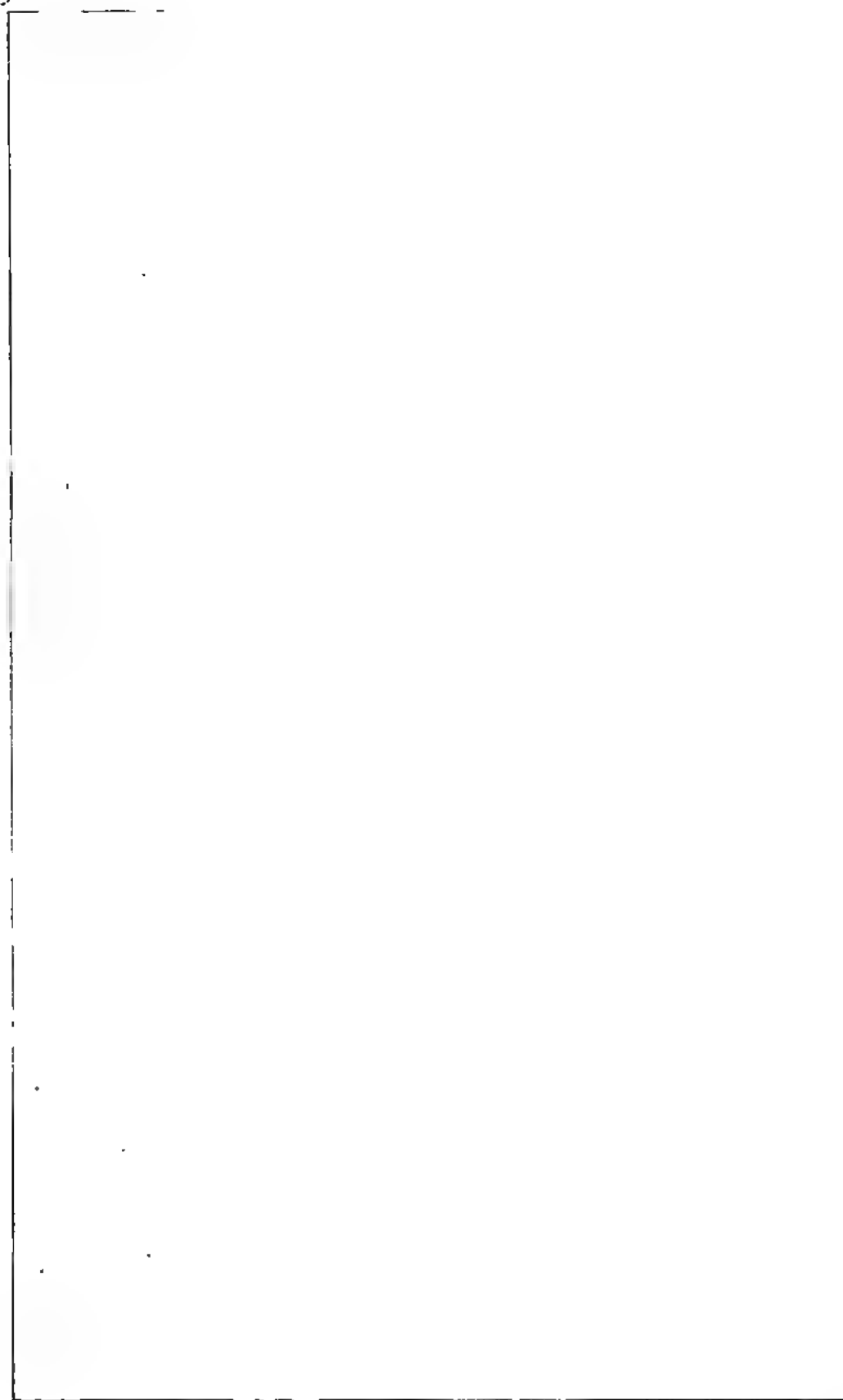


Fig. 17.

Rhin, est de construction plus moderne. Le premier atelier fabrique les machines et les chaînes, l'autre les appareils de levage.

Actuellement, chaque atelier occupe 500 ouvriers travaillant 10 heures.

Premier atelier. — A remarquer :

Une importante fabrication de chaînes soudées (140^m par jour); un magasin très bien organisé, et desservi par un pont roulant de 7^{ix},5 et de 25^m de portée; une fonderie assez importante, pouvant fondre des pièces de 75^{ix}, et employant un grand nombre d'outils à air comprimé.

Deuxième atelier. — A remarquer :

Un grand nombre de machines-outils très modernes, entre autres une raboteuse à trois fraises pour faire des pièces de série, des machines automatiques (j'ai vu un copeau de 22^m de long, de 100^{mm} de large et de 0^{mm},5 d'épaisseur provenant d'une machine automatique); une installation d'aération et de chauffage des ateliers, pouvant porter la température de ces ateliers de — 7° à + 18° en 30 minutes.

Les spécialités de cette usine sont les ponts roulants, appareils de levage pour toutes les industries, grues-tours, cales couvertes, etc.

5° Constructions navales.

1. — Chantiers Vulkan, à Stettin.

Ces chantiers furent fondés en 1852. Ils sont admirablement bien situés, modernes, et construits avec les derniers perfectionnements. Ils occupent une superficie de 28^{ha},50^a, sur lesquels il y a environ 98000^m² de bâtis, et ils peuvent employer jusqu'à 7000 ouvriers travaillant 10 heures, 100 ingénieurs et 100 dessinateurs.

Presque toutes les pièces des navires construits à Stettin sont fabriquées par le chantier.

Les différents ateliers sont reliés par une série de voies de chemins de fer.

Force motrice. — La force motrice, sous forme de courant triphasé à 550 volts, est engendrée par cinq machines à vapeur surchauffée à triple expansion, de 600^{chx} chacune, à 180 tours et à 12^{kx}. Un régulateur agit sur une commande hydraulique de l'arbre de relevage. Les chaudières sont de la maison Allemande Babcock et Wilcox.

Coques. — Le chantier possède quatre grandes cales de 26^m de hauteur, et d'environ 180^m de long, et quatre cales plus petites. Ces cales sont desservies par des ponts roulants, mais ne sont pas, à proprement parler, des cales couvertes, car il n'y a ni toiture ni murailles, mais seulement les superstructures nécessaires à la manœuvre des ponts roulants. Les deux photographies ci-contre donnent une idée de cette construction (*fig.* 18 et 19). Le sol de ces

cales est établi sur pilotis, et l'accoragage des navires se fait comme en France.
En face de ces cales se trouve l'atelier des bâtiments en fer, qui est un

Fig. 18

hall très simple en tôle ondulée. On peut remarquer un grand nombre de poinçonneuses et cisailles mues électriquement, et placées souvent en dehors

Fig. 19.

de ce hall. L'outillage pneumatique n'est pas employé pour les bords de carène.

Machines. — La fonderie, de dimension médiocre, possède quatre cubilots et un Bessemer. Il existe aussi une fonderie spéciale pour le bronze, et une

pour le métal blanc. L'outillage est assez perfectionné; l'ébarbage est fait avec des burins à air comprimé.

L'ajustage a des proportions considérables, et utilise des machines-outils très puissantes et très modernes; on y remarque un très grand nombre de fraises, et une machine Anglaise spécialement établie pour raboter les ailes d'hélices d'une manière parfaitement régulière; avec cette machine, on est sûr que les ailes d'une hélice sont exactement semblables.

La chaudronnerie, très vaste également, ne présente rien de particulier; on peut y remarquer un gros laminoir vertical à cintrer les tôles de chaudières, et un grand nombre de presses hydrauliques à emboutir.

Les rivets sont mis à la riveuse hydraulique et à la main; les outils pneumatiques, en grande quantité, ne sont employés qu'au burinage et au matage, et encore, dans les parties délicates de la chaudière, le matage est fait à la main. Les trous sont percés à la perceuse électrique.

Travaux en cours: 1^o *Coques*. — J'ai vu à flot le *Prinz-Ludwig*, paquebot-poste pour le Norddeutscher Lloyd et la *Kronprinzessin-Cecilie*, navire à grande vitesse pour la même Compagnie.

J'ai vu en outre un cuirassé pour le gouvernement Allemand, armé de :

4	canons	de	28 ^{cm}
14	"		17
22	"		8,8

Le cuirassement se compose :

D'une ceinture de 240^{mm}, 150^{mm} et 100^{mm} d'épaisseur;
D'une citadelle de 170^{mm};
D'un réduit central de 170^{mm};
D'un blockhaus de 300^{mm};
D'un pont blindé de 40^{mm} et 97^{mm}.

Il y a également un croiseur à turbines, qu'on vient de mettre en chantier pour le gouvernement Allemand.

L'armement comprend :

10	canons	de	105 ^{mm}
8	"		52 ^{mm}

La protection se compose :

D'un pont blindé de 20^{mm} et 50^{mm};
De surbaux de 100^{mm} et 80^{mm};
D'un blockhaus de 100^{mm}.

Il y a en outre en chantier des torpilleurs pour la Grèce, armés de :

2 tubes lance-torilles;
2 canons de 76^{mm};
4 canons de 57^{mm}.

Les dimensions principales de ces divers bâtiments sont :

	L.	l.	c.	Déplacement.	F.	V.
<i>Prinz-Ludwig</i>	149 ^m	17,48 ^m	11,58 ^m	10 000 ^{tx}	$\left\{ \begin{array}{l} 2 \times 3.500 \\ \text{quadruple} \\ \text{expansion,} \\ 4 \text{ cylindres} \end{array} \right\}$	14 ⁿ ,6
<i>Kronprinzessin-Cecilie</i>	208,17	21,94	13,46	19 360	40 000 ^{chx}	23,5
Cuirassé Allemand.....	121,50	22,20	13,04	18 200	16 000	18,5
Croiseur à turbines.....	117	13,3	7,80	3 450	14 000	24
Torpilleurs Grecs.....	67	6,6	4,05	350	6 800	30

Machines. — L'appareil moteur de la *Kronprinzessin-Cecilie* se compose de quatre machines, deux sur le même arbre; ces machines sont à quadruple expansion, à quatre cylindres et à trois manivelles, le HP étant en tandem sur le MP. Ces machines sont chacune de 9000 à 10000^{chx}, et marchent à 15^{kg}; le grand cylindre a 2^m,850 de diamètre, et la course commune est de 1^m,800. L'arbre moteur a un diamètre de 760^{mm}. Les bâtis, en acier moulé, se composent de deux Y se faisant face.

J'ai vu également en construction les machines des torpilleurs Grecs; ces machines sont à triple expansion et à quatre cylindres et ont le calage Schlick; elles ressemblent beaucoup à nos machines de torpilleur, quoique présentant un aspect moins ramassé que les machines du type Normand.

Appareils de mise à sec. — Les chantiers possèdent deux docks flottants à deux murailles verticales, de 20^m et 28^m de largeur; le plus grand peut mettre à sec un navire de 25000^{tx} en 4 heures.

II. — Chantiers Burmeister et Vain, à Copenhague.

Ces chantiers comportent deux établissements, l'un au centre même de Copenhague, entouré de canaux de trois côtés, où l'on construit les machines, l'autre, un peu en dehors de la ville, où sont construites les coques.

Ces deux chantiers furent fondés par MM. Burmeister et Baumgarten en 1872. Mais ce n'est qu'un peu plus tard qu'un ingénieur Anglais, M. Weil, donna aux chantiers l'organisation qu'ils ont encore actuellement.

Coques. — Le chantier des coques occupe environ 10000^{m²}, et emploie 1200 ouvriers.

La force motrice est donnée sous forme de courant électrique continu de 220 volts. Les machines qui produisent ce courant ont une puissance de 550^{chx}.

L'installation n'est pas très moderne, et est copiée sur les installations Anglaises, c'est-à-dire que toutes les installations accessoires sont de la plus grande simplicité.

Il y a quatre cales de 120^m de long et de 15^m de large, le chantier ne con-

Fig 20.

entièrement modernes, sont établies d'une façon tout à fait remarquable. La figure 20 représente l'ensemble des chantiers.

Cales. — Il y a quatre cales entièrement couvertes de 115^m à 195^m de long, et d'une hauteur de 30^m à 36^m (*fig. 21*), et deux cales découvertes, qu'on est en train de reconstruire; une de ces dernières aura 250^m de long, 36^m de large, et permettra de construire des navires jusqu'à 32^m de large.

Fig. 21.

Le sol des cales est en béton, le côté avant est au niveau du sol, l'arrière creusé dans le sol est au-dessous du niveau de l'eau; il est fermé par un bateau-porte analogue à ceux des bassins de radoub, mais de proportions beaucoup plus réduites. Un chemin de fer à voie étroite peut amener les tôles à pied d'œuvre.

L'atelier des bâtiments en fer fait corps avec les cales, la toiture de ce dernier bâtiment venant se raccorder avec la muraille avant des cales, en sorte que les navires sont pour ainsi dire construits dans l'atelier même, ce qui permet d'y travailler à toute heure et en toute saison.

A côté des cales, se trouve un plan incliné de 50^m de large sur 75^m de long, permettant de construire, soit plusieurs torpilleurs, soit des docks flottants ou des navires de formes spéciales.

L'outillage de l'atelier des bâtiments en fer est très puissant et très moderne.

La construction est très soignée, tous les trous de rivetage du bordé de carène sont percés au foret; les tôles sont à clins dans le sens longitudinal,

et à franc bord dans le sens transversal, pour tous les bâtiments de guerre ou paquebots rapides.

On se sert peu de l'outillage pneumatique, qui a causé certains déboires, paraît-il. On se sert cependant encore de cet outillage pour les petits rivets, certains matages et le burinage.

J'ai vu peindre la carène d'un cuirassé; cette opération m'a paru faite avec moins de soins qu'en France, la peinture étant étendue directement, sans grattage ni séchage au chalumeau.

Atelier des machines. — La fonderie couvre 900^{m²}; elle peut fabriquer 14^t de fonte à l'heure. C'est une des mieux installées que j'ai vues, la figure 22 en donne une idée. Un four à réverbère permet de fondre les autres métaux, et peut donner 2^t,5 à l'heure. L'ébarbage n'est pas fait à l'aide d'outils pneumatiques. Cet atelier possède neuf grandes étuves pour le séchage des moules pour la fonte, et cinq pour le séchage des autres moules.

Il n'y a pas de grosse forge.

Le montage se compose de sept nefs, et couvre 17 000^{m²}. Le hall central a 26^m de haut; cet atelier contient plus de quatre cents machines-outils très perfectionnées.

Il existe des fondations spéciales pour le montage des machines; elles se composent de deux grandes poutres en I supportées par des blocs de béton; pour aller plus vite, pendant qu'on règle les bâtis, on monte sur un plan de pose spécial les cylindres retournés, c'est-à-dire ayant le côté tige en l'air.

La chaudronnerie construit beaucoup de chaudières Schulz à petits tubes; c'est ce type qui est adopté pour toute la marine Allemande. On voit, sur la figure 23, des chaudières de ce type en construction.

Les ateliers de montage sont situés en face du quai, et y donnent accès par une large porte. Près de cette porte est une très forte grue tournante, qui peut porter 45^t à une distance de 38^m, ou 150^t à une portée de 23^m (1). A l'aide de cet appareil, des machines ont pu être embarquées toutes montées. On peut voir cette grue (*fig.* 20) en face des ateliers de montage (A).

La force motrice est fournie par cinq machines verticales à triple expansion actionnant des dynamos à courant continu de 550 volts. Des compteurs spéciaux installés au tableau de distribution permettent de mesurer exactement la dépense de chaque atelier.

Les ouvriers travaillent 10 heures avec 1 heure et demie de repos à midi. Ils ont de vastes lavabos avec salles de bains et salle de douches à eau chaude et froide. Une cantine et une cuisine sont également à leur disposition. La main-d'œuvre n'est pas très chère : un bon ouvrier gagne 50 marks

(1) Cette grue est analogue à celle des Chantiers Howaldt, dont on peut voir la photographie plus haut (*fig.* 16).

(63^{fr}) par semaine, et les manœuvres de 3 à 4 marks (3^{fr},80 à 5^{fr}) par jour.

Fig. 33.

IV. — *Arsenal de Kiel.*

Cet arsenal a été construit en 1869, et s'est continuellement agrandi, surtout depuis 5 ans. Il occupe actuellement une superficie de 260000^m², et de nouveaux terrains de 191250^m² viennent d'être acquis.

L'arsenal emploie 5000 à 6000 ouvriers. Ces ouvriers auront la journée de 9 heures à partir du 1^{er} août.

La force motrice est le courant électrique triphasé à 1000 volts; la puissance de 2500^{ch} est fournie par deux grosses machines à pilon et deux turbines Brown Boveri.

Cet arsenal est principalement outillé pour les réparations. A cet effet, il a deux bassins de radoub, avec des pompes épuisant 25000^m³ en 5 heures.

Les ateliers comprennent :

Trois cales de constructions non couvertes construites sur béton;

Un atelier des bâtiments en fer;

Une fonderie et une forge assez importantes;

Un atelier de montage de machines;

Tous ces ateliers sont fort bien outillés. On se sert beaucoup des outils pneumatiques, excepté pour le rivetage.

J'ai vu en construction :

1° Sur cale : un croiseur, l'*Ersatz-Blitz*, dont les caractéristiques sont les suivantes :

L., 110^m; l., 12^m, 50; c., 8^m;

D^t, 3300^{tx};

F., 11000^{chx} en deux machines;

V., 23,5 nœuds;

Dix canons de 105^{mm};

Six canons de 37^{mm};

Un pont blindé de 37^{mm}.

La construction complète doit durer 21 mois.

2° A flot : un autre croiseur, le *Königsberg*, ayant à peu près les mêmes caractéristiques.

Un croiseur cuirassé, *E*, est en projet; il doit avoir les caractéristiques suivantes :

D^t, 15000^{tx};

L., 150^m;

c., 14^m, 50;

Profondeur de carène, 8^m;

F., 36000^{chx} en trois machines;

V., 23,5 nœuds.

J'ai vu en montage les machines du premier de ces croiseurs; elles paraissent très soignées, très légères, avec bâtis en colonnes d'acier forgé, et distribution à coulisses.

J'ai pu visiter le cuirassé *Deutschland*, qui va entrer en essais. Il diffère peu des navires similaires construits en France; il présente peut-être une plus grande complication des appareils, et a encore quelques ponts recouverts de bois.

Les machines sont décroisées, ce qui permet d'augmenter les dimensions des chambres, et d'y loger le condenseur. Elles sont à trois cylindres, distribution Marshall (type des Forges et Chantiers de la Méditerranée).

Les chaudières sont à petits tubes.

V. — Blohm et Voss, à Hambourg.

Ce chantier fut créé en 1877 par Herman Blohm et Ernest Voss; depuis cette date ce chantier n'a cessé de s'agrandir. Il est situé sur la rive gauche de l'Elbe, dans une position très favorable communiquant, d'une part avec le chemin de fer, et d'une autre avec l'Elbe et les canaux par trois côtés, dont 550^m sur l'Elbe. Il occupe actuellement 24^{ha}, et l'on est train de construire de nouveaux ateliers sur 22^{ha} nouvellement acquis. Ce chantier construit surtout des paquebots rapides; mais depuis quelque temps il construit également des navires de guerre.

L'installation du chantier étant assez ancienne, il n'y a pas de station

centrale électrique; chaque atelier est mû par une machine recevant sa vapeur par conduits souterrains d'un poste central de chaudières.

Les cales et ateliers ont une canalisation d'eau sous pression à 100^{kg}, et une d'air comprimé. La puissance des compresseurs d'air est de 200^{chx}.

En outre, les chantiers sont sillonnés de voies de chemin de fer comportant 100 aiguilles de changement de direction; le transport des matériaux dans le chantier est assuré par 6 locomotives et 300 wagons. Sur les quais, on remarque une grue à vapeur de 150^{tx} et de 15^m de portée, plusieurs autres plus petites et une grue roulante électrique de 50^{tx}.

Les chantiers et ateliers occupent 5000 ouvriers et 25 ingénieurs. Une cantine avec cuisine peut nourrir 1800 personnes.

Cales. — Cales non couvertes établies à la manière Anglaise, construites sur pilotis et desservies chacune par six mâts de charge de 30^m de haut. Elles permettent de construire des navires de 200^m de long.

L'atelier des bâtiments en fer est un grand hall couvert, de 8600^{m²}; on y remarque un grand nombre de cisailles, poinçonneuses et une machine à cintrer les tôles de quilles, mais il n'y a rien de particulier ni de très moderne.

Machines. — Les pièces de fonderie ainsi que les grosses pièces de forge sont exécutées à l'extérieur.

L'ajustage est un vaste atelier desservi par 4 ponts-roulants de 30^{tx} (*fig. 24*).

Les machines-outils très modernes et très puissantes sont mues par un groupe de trois machines à vapeur chacune de 150^{chx}.

La construction des machines paraît un peu moins soignée qu'en France.

J'ai remarqué les grandes dimensions des pièces qui sont travaillées. Ainsi l'une des pièces d'un bâti en trois pièces d'une machine de croiseur pèse 6165^{kg}; la machine de ce croiseur est à trois cylindres; le grand cylindre a un diamètre de 2^m,300 et une course de 1^m; il pèse 25230^{kg}.

J'ai remarqué également une barre d'excentrique pour distribution Marshall, en acier coulé.

Les arbres porte-hélices sont protégés par une gaine en caoutchouc.

Chaudronnerie. — La puissance est fournie par une machine à vapeur de 150^{chx}.

A remarquer des machines hydrauliques très puissantes, en particulier un laminoir pouvant cintrer des tôles de 40^{mm} d'épaisseur.

Travail en cours :

Catégorie.	Numéros des commandes.	L.	l.	c.	F.	V.	D.	Temps nécessaire à la construction.
Paquebots..	183 et 184	145 ^m	16,76 ^m	8 ^m	6200 ^{chx} en 2 mach.	15,5 ⁿ	15000 ^{tx}	9 mois.
Cargos . . .	185, 192, 193	132	16,10	9,60	2800	11,5	11500	10 mois.
Mi-cargo et Paquebot	194	147	16,84	7,5	7500	15,5	15500	12 mois.

Fig. 24.

1

Fig. 15.

Docks. — La maison Blohm et Voss possède les plus puissants docks flottants du monde. Quatre docks sont actuellement en service, et un cinquième est en construction. Les n^{os} 1 et 2 ont une puissance de soulèvement de 3000^{tx} et 4700^{tx}. Le n^o 3 a une puissance de 17000^{tx}, il a 190^m de long,

Fig. 26.

36^m de large, il est épuisé en 1 heure 30 minutes par des machines électriques de 1200^{chx}, situées dans une station centrale spéciale, qui fournit un courant continu à 120 volts. Des conduits articulés amènent aussi à bord du dock de l'air sous pression et du gaz. Ce dock est formé de trois caissons séparables.

Le n^o 4 mesure 230^m de long et 32^m de large, il peut mettre à sec un navire de 22000^{tx} en deux heures.

Le dock n^o 5, qui pourra soulever 35000^{tx}, est en cours de construction.

Les photographies ci-jointes représentent le *Deutschland*, de la Hamburg Amerika Linie, à sec dans le n° 4 (fig. 25), et le cuirassé *Kaiser-Karl-der Grosse*, de 11 152^{tx}, dans le dock n° 3 (fig. 26).

VI. — Chantiers *Reiherstieg*.

Ancienne maison, qui, après avoir eu des débuts très modestes, va bientôt devenir d'une grande importance.

Admirablement située sur la rive gauche de l'Elbe, elle est entourée d'eau de trois côtés. Elle vient d'acquérir des terrains pour construire de nouveaux ateliers avec tous les perfectionnements modernes. Elle occupe 2500 ouvriers travaillant 10 heures, et 40 ingénieurs, dessinateurs et employés.

L'ancien chantier et le nouveau sont séparés par un des bras de l'Elbe. L'ancien chantier occupe environ 41 000^{m²}, on y construit les coques et machines. Le nouveau occupe 17 000^{m²}, il est spécialement outillé pour les réparations et mises à sec.

Le chantier possède deux cales du type Anglais sur pilotis de

140^m × 18^m,

150^m × 20^m.

Les cales sont desservies par trois grands mâts de charge.

Le rivetage pneumatique est employé pour tous les rivets d'un diamètre inférieur à $\frac{1}{8}$ de pouce.

L'atelier des bâtiments en fer est très ancien et très primitif, mais l'outillage est très puissant et très perfectionné; il comporte une très forte machine à cintrer les tôles de quilles, et une machine électrique à équerriser les profilés.

Une menuiserie très bien outillée fait tous les meubles et ameublements des bateaux construits par la maison. Des ventilateurs aspirent la sciure, et la conduisent directement à l'extrémité d'une trémie, qui alimente le foyer d'une étuve.

Machines. — L'ajustage, assez petit, ne présente rien de particulier. La chaudronnerie est très grande, et pourvue d'un outillage plus moderne; la hauteur est suffisante pour permettre de monter entièrement un groupe de trois générateurs avec leur boîte à fumée et culottes de raccordement à la cheminée.

Nouveaux ateliers. — Ils sont installés depuis 1900; on peut y remarquer une grosse grue électrique roulante de 25^{tx}, primée à l'exposition de Dusseldorf, et un petit marteau électrique à forger, d'un brevet Français.

La station centrale électrique, actionnée par deux machines compound verticales de 300^{chx} à 150 tours, fournit du courant continu à 450 volts. Ces

machines marchent à la vapeur surchauffée de 150°. La station centrale d'air comprimé fournit 23^m à l'heure à 7^{kg} de pression.

Il y a deux stations d'eau sous pression avec accumulateurs; la pression d'eau dans les conduites est de 100^{kg}.

Comme appareils de mise à sec, la maison possède deux docks de construction Anglaise, n'ayant qu'un côté vertical relié au quai par un parallélogramme articulé. L'un de ces docks peut mettre à sec un navire de 11 000^{tx} en 45 minutes.

En cours d'exécution, j'ai vu deux cargos ayant les caractéristiques suivantes :

L.	l.	c.	D ^l .	F.	V.	Temps de la construction.
130 ^m	15 ^m ,60	11 ^m ,80	14 000 ^{tx}	4 200 ^{chx} { en 2 machines. }	14 ⁿ	11 mois.
122 ^m	15 ^m	11 ^m ,10	13 000 ^{tx}	2 800 ^{chx}	10 ⁿ	10 mois.

VII. — Chantiers de la Weser, à Brême.

Le chantier de la Weser a été établi sur l'emplacement de l'ancien chantier Waltjen, qui fut fondé en 1843; il a pris le nom de Weser en 1872; c'est surtout depuis 1901 qu'il a pris une grande importance. L'installation est très avantageuse, ayant sur l'eau une longueur de 1200^m. Les chantiers occupent 61^{ha}, et emploient 3800 ouvriers et employés travaillant 10 heures.

Toutes les constructions sont entièrement neuves, très vastes et souvent même somptueuses.

La force, sous forme de courant électrique continu à 220 volts, est fournie par deux stations centrales, l'une à vapeur de 1000^{chx}, et l'autre également de 1000^{chx}, mais avec des moteurs à gaz pauvre.

Dans ces ateliers on emploie beaucoup les outils pneumatiques. Tous les rivets sont mis au marteau pneumatique, sauf ceux du bordé de carène qui sont posés à la main.

Cales — Les chantiers possèdent six cales non couvertes, construites sur béton armé; ces cales, desservies par des grues tours, ont les dimensions suivantes :

1 et 2.....	200 ^m
3.....	150
4.....	110
5.....	100
6.....	80

L'atelier des bâtiments en fer est outillé d'une manière remarquable, avec

de nombreuses machines à travailler les tôles, et une machine à façonner les tôles de quilles de 10^m de longueur.

La salle à tracer est très claire et très propre, elle mesure 100^m × 25^m. C'est dans cette salle que sont faits tous les gabarits en bois; à cet effet, un petit outillage spécial y est installé.

Les ateliers de montage et d'ajustage ne présentent rien de particulier; ils sont munis naturellement de machines très modernes et très puissantes.

J'ai vu dans cet établissement une machine de croiseur de construction assez légère, avec une distribution genre Marshall. J'y ai vu également une machine de torpilleur avec distribution par coulisse. Deux excentriques correspondent à la marche avant et un seul à la marche arrière.

La chaudronnerie, très vaste également, ne présente rien de particulier.

La fonderie est très importante; elle comporte 5 cubilots, 1 petit Bessemer et 15 creusets à fondre le bronze.

Les chantiers ont un dock flottant de 117^m de long et de 27^m,50 de large, pouvant mettre à sec un navire de 10500^t. Ce dock se compose de cinq tronçons; on se propose de lui en adjoindre de nouveaux, ce qui portera sa longueur à 200^m.

J'ai vu en cours de construction ou en achèvement à flot :

Un paquebot pour le Nord Deutscher Lloyd le *Turingen*;

Le croiseur *C* pour la Marine Allemande;

Un navire porte-mines très fin;

Un bateau feu;

Un paquebot-poste, le *Gæben*;

Un paquebot, le *Neptun*;

Un vapeur pour Emden;

Un gros ponton pour le port de Brême.

VIII. — Chantiers *Vulkan*, à *Vegesack*, près de *Brême*.

Ce chantier n'est fondé que depuis 1895; il a donc pu être établi avec les derniers perfectionnements modernes. Il couvre une étendue de 300000^m², avec une longueur de quai de 1400^m.

Ce chantier arrive à travailler à des prix très peu élevés, en partie à cause du perfectionnement de son outillage, et aussi à cause du prix de la main-d'œuvre, qui est particulièrement bon marché dans cette région. Le prix de construction n'est pas plus élevé que les prix Anglais.

Actuellement, l'installation du chantier est très simple, les constructions sont généralement établies au meilleur marché possible; mais on songe déjà à construire de nouveaux bureaux, et l'on en profitera vraisemblablement pour rendre ce chantier aussi somptueux que les autres chantiers et usines Allemands.

Les ateliers occupent 3000 ouvriers travaillant 10 heures.

La force, sous forme de courant continu à 500 volts, est engendrée par des machines à vapeur à pilon et à triple expansion. L'une est de 750^{chx} et les deux autres de 500^{chx}. On construit un plan de pose pour une troisième, qui sera de 1000^{chx}.

L'air comprimé à 7^{kg} est produit dans trois stations centrales, dont deux sont de 300^{chx} et une de 75^{chx}.

On se sert beaucoup des outils pneumatiques; pour les cargos, tous les trous de rivets sont poinçonnés, et tous les rivets sont mis au marteau pneumatique, sauf cependant ceux du bordé de carène.

Comme appareils de levage, le long des quais on remarque :

Une machine à mâter fixe de 50^{ix};

Une grue électrique roulante de 10^{ix};

Une grande grue à pivot électrique de 100^{ix};

Et plusieurs autres grues plus petites.

Dans le chantier circulent en grand nombre des grues roulantes pour transporter les matériaux.

Cales. — Il y a six cales, dont le sol est en béton armé.

Les deux premières ont 180^m de long. Une voie aérienne, supportée par des piliers en tôle, est située entre ces deux cales. Sur cette voie aérienne circulent deux grues pivotantes de 5^{ix}. Cette installation n'a pas donné pleine satisfaction, et surtout elle est très coûteuse.

Les autres cales sont desservies par des grues-tours décrites dans la première partie de ce mémoire. Il y a deux grues-tours par cale.

Les cales 3 et 4 ont environ 200^m de long; les cales 5 et 6 sont plus petites, mais ont cependant environ 150^m.

La pente du terrain étant assez régulière, les cales sont presque partout au niveau du sol.

Bâtiments en fer. — Cet atelier, entièrement neuf, est très bien installé; il est desservi par trois ponts roulants de 5^{ix} et de 5^m de portée. On y remarque douze grosses poinçonneuses, et un grand nombre de machines à travailler les tôles; l'une peut poinçonner des trous de 600^m × 500^m. Les profilés sont travaillés dans un atelier différent.

Atelier des modèles. — Le chantier possède un bel atelier pour le travail du bois; tous les meubles entrant dans la construction des bâtiments construits à Vegesack y sont fabriqués, sauf les ameublements de luxe.

Forge. — La forge est peu importante, tous les grosses pièces venant de l'extérieur.

Fonderie. — Il existe une petite fonderie de fonte de bronze et de métal blanc.

Chaudronnerie. — La chaudronnerie est très vaste et très bien outillée; les matages des chaudières et les trous des rivets sont faits avec des machines pneumatiques.

Montage. — C'est un vaste atelier à quatre travées, desservi par deux gros ponts roulants de 40^{ts}. L'outillage m'a paru très puissant, et les outils paraissent avoir une vitesse considérable.

Travaux en cours d'exécution. — Quatre cargos, pouvant aussi prendre des passagers, dont les caractéristiques sont à peu près les mêmes :

L.....	124 ^m , 30
l.....	16 ^m
c.....	9 ^m , 37
D ¹	5102 ^{ts}
F.....	2500 ^{chx}
V.....	12 ⁿ

La construction d'un de ces navires dure 9 mois.

Les machines sont à quadruple expansion, à quatre cylindres. Les bâtis horizontaux sont en deux pièces. Les bâtis verticaux sont également en deux pièces accolées deux à deux, ce qui donne un beau poste de manœuvre au milieu de la machine.

La disposition des cylindres est la suivante :

Excentriques HP,
HP manivelle 0°,
BP manivelle 180°,
Excentriques BP,
Tourteau d'accouplement,
Excentriques MP₁,
MP₁ manivelle 90°,
MP₂ manivelle 270°,
Excentriques MP₂.

Les diamètres des cylindres sont :

HP.....	0.610
MP ₁	0,880
MP ₂	1 ^m , 280
BP....	1 ^m , 850

Course commune, 1^m35.

70 tours et 17^{ks} de pression.

En 1906, les chantiers Vulkan doivent construire :

- 6 paquebots,
- 10 cargos,
- 1 remorqueur de haute mer,
- 1 navire porte-feux,
- 20 machines à vapeur donnant ensemble 37 500^{chx},
- 57 chaudières ayant ensemble une surface de chauffe de 14 000^{m²}.

IX. — Bassins d'essais.

J'ai pu visiter deux bassins d'essais, un à Berlin et l'autre à Bremerhaven. Celui de Berlin a à peu près les dimensions suivantes :

Longueur.....	100 ^m
Largeur.....	10,50 au niveau de l'eau,
»	6 au fond.

La surface mouillée est de 22^m².

Ce bassin porte en un endroit du parcours une chambre vitrée, située au-dessous du niveau de l'eau. De cette chambre on peut étudier les vagues et remous faits par les modèles.

Le chariot qui remorque les modèles porte les appareils enregistreurs nécessaires pour obtenir les courbes des temps, des résistances, et la courbe des espaces parcourus. Ce chariot, mû électriquement, pèse 7^{ts}. En dessous de ce chariot, est installé un appareil pour prendre des photographies au magnésium; on va même y installer un cinématographe pour l'étude des modèles d'hélices.

Les modèles sont en paraffine, et sont remorqués à une vitesse d'environ 7^m à la seconde. Ils sont taillés par une machine à façonner, qui donne la forme exacte des lignes d'eau, et la carène est ensuite finie à la main.

Le bassin d'essais de Bremerhaven est un peu plus petit que celui de Berlin, mais paraît établi avec plus de soin. La puissance électrique est fournie par des accumulateurs, pour que le courant ait une constance absolue.

C'est grâce à ce bassin que les grands transatlantiques Allemands ont obtenu les beaux résultats auxquels ils sont arrivés. En particulier, pour le *Kaiser-Wilhem-II*, le bassin d'essais, en conseillant d'élargir un peu le bateau et de diminuer sa longueur, a pu économiser 2000^{chx} de puissance, ce qui fait environ 96000 marcs (120000^{fr}) d'économie par an. On comprend que de telles économies ont vite fait d'amortir les frais d'installation du bassin : environ 300000^{fr}.

J'ai vu plusieurs modèles d'hélices qui ont donné d'excellents résultats. En particulier, l'hélice du *Niki* et une autre hélice composée de trois plans minces réunis au moyeu par des entretoises; le bénéfice de matière employée est considérable, et l'utilisation serait, paraît-il, la même que pour une hélice ordinaire.

En terminant ce mémoire, je tiens à remercier d'abord M. Canet, grâce à la générosité duquel j'ai pu accomplir ce si intéressant voyage d'études; ensuite M. Seidler, le si aimable secrétaire de la Schiffbautechnische Gesell-

schaft, qui a bien voulu me faciliter l'accès des usines Allemandes en m'y accompagnant d'abord, et en me donnant ensuite les meilleures lettres de recommandation.

Je remercie aussi MM. les Directeurs des usines que j'ai visitées pour leur bienveillant accueil, et les ingénieurs qui m'ont accompagné dans ces visites.

LISTE GÉNÉRALE DES MÉMOIRES

PUBLIÉS DANS LES SEIZE PREMIERS VOLUMES.

VOLUME N° 1 (ANNÉE 1890).

1. Note sur les actions réciproques du gouvernail et de l'hélice, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.
2. Influence économique de la légèreté dans la construction des navires, par M. HAUSER, Ingénieur de la Marine.
3. Cuirassés de croisière, par M. LISBONNE, Vice-Président.
4. Étude sur la résistance de l'acier, par M. CUIZINIER, Inspecteur du Bureau Veritas.
5. Croiseurs de la Marine militaire des États-Unis, par M. LISBONNE, Vice-Président.

VOLUME N° 2 (ANNÉE 1891).

6. De la puissance des chaudières et des causes qui la limitent, par M. DE MAUPEOU D'ABLEIGES, Ingénieur de la Marine.
7. De la répartition des températures dans les chaudières à haute pression, et des moyens de l'égaliser, par M. J. AUSCHER, Ingénieur de la Marine.
8. Étude du système de distribution Marshall, par M. MARBEC, Élève-Ingénieur de la Marine.
9. Étude sur la résistance des carènes, par M. ALHEILIG, Ingénieur de la Marine.
10. Note au sujet de la stabilité sur houle des torpilleurs, par M. FERRAND, Ingénieur de la Marine.
11. Des proportions à donner au rivetage d'un joint d'égale résistance, dans le cas où tous les rivets ont le même diamètre, par M. G. AUROUS, Ingénieur de la Marine.
12. Équations d'équilibre d'une membrane de révolution soumise à une pression intérieure, par M. ALHEILIG, Ingénieur de la Marine.
13. Recherche de la loi du mouvement de roulis sur houle, en milieu non résistant, par M. MARBEC, Élève-Ingénieur de la Marine.

VOLUME N° 3 (ANNÉE 1892).

14. Note sur la loi de la variation du poids de la charpente des navires avec les dimensions, et sur la limitation qui en résulte dans la grandeur absolue, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.

15. Méthode pour la détermination des éléments mécaniques des propulseurs hélicoïdaux, par M. DRZEWIECKI, Ingénieur.
16. Note relative à une méthode nouvelle pour le calcul des carènes inclinées, par M. CH. DOYÈRE, Ingénieur de la Marine, Sous-Directeur de l'École d'application du Génie maritime.
17. Méthode pour la recherche des bras de levier de redressement, par M. A. DE REFFYE, Ingénieur de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
18. Description d'un sharpée de 9,5 de déplacement, par M. G. AUROUS, Ingénieur de la Marine.
19. Théorie des propulseurs, par MM. POLLARD et DUDEBOUT, Ingénieurs de la Marine.
20. Sur quelques principes de Mécanique graphique applicables aux machines marines, par M. MARBEC, Ingénieur de la Marine.

VOLUME N° 4 (ANNÉE 1893).

21. Des conditions de marche des navires, à petite vitesse, par M. E. WIDMANN, Directeur général des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
22. Résultats obtenus par l'emploi du tirage forcé en cendriers fermés, dans les ateliers et sur divers navires de la Compagnie Générale Transatlantique, par M. V. DAYMARD, Vice-Président.
23. Quelques points concernant les cuirassés, par M. E. WEYL.
24. Note sur les travaux de déglacage dans les estuaires fluviaux et maritimes, par M. DIBOS, Ingénieur.
25. Sur la puissance giratoire comparée des gouvernails placés en avant et en arrière des hélices, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.
26. Note sur l'influence de l'immersion de l'hélice et de la vitesse sur la rupture du cylindre d'eau actionné, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.
27. Voies d'eau et pompes centrifuges, par M. DE MAUPEOU D'ABLEIGES, Directeur des Constructions navales.
28. Étude sur l'autonomie des ports de Commerce en France et en Angleterre, par M. LE COUR GRANDMAISON, Ancien Député.
29. Nouvelle méthode de calcul des éléments d'une carène, par M. KRILOFF, Professeur à l'Académie navale de Saint-Petersbourg.
30. Études de géométrie des carènes, par M. CH. DOYÈRE, Ingénieur de la Marine, Sous-Directeur de l'École d'application du Génie maritime.
31. Note sur l'utilisation des chalands pour la réparation des petits bateaux dans les ports à marée, par M. A. CRONEAU, Professeur à l'École du Génie maritime.
32. Le Congrès international maritime de Londres, par M. MULLER.
33. De l'emploi de l'aluminium dans les constructions navales, par M. GUILLOUX, Ingénieur de la Marine.

VOLUME N° 5 (ANNÉE 1894).

34. Des lois de similitude dans diverses questions de construction navale, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.
35. Observations sur les foyers des chaudières marines, par M. V. DAYMARD, Vice-Président.
36. Carènes et machines. Formules relatives au travail résistant, par M. RISBEC, Directeur des ateliers de la Compagnie des Messageries Maritimes.

37. Étude sur la fatigue des navires, par M. L. VIVET, Ingénieur civil des Constructions navales.
38. Les effets de la loi sur la Marine marchande Italienne, par M. MULLER, Capitaine au long cours.
39. De l'utilité du scaphandre à bord des navires long-courriers, par M. DIBOS, Ingénieur.
40. Aperçu de la méthode Horta pour le jaugeage de fleuves et estuaires maritimes, au moyen de flotteurs amarrés, par M. DIBOS, Ingénieur.
41. Application de la bouée-espar au jaugeage des cours d'eau, par M. LECOINTE, Ingénieur en chef de la Marine Belge.
42. L'Artillerie de bord et l'armement des navires. par M. MERVEILLEUX DU VIGNAUX, Ingénieur aux Forges et Chantiers de la Méditerranée.

VOLUME N° 6 (ANNÉE 1895).

43. Emploi, dans les constructions, d'aciers à haute limite d'élasticité, par M. BARBA, Ancien Ingénieur en chef des Usines du Creusot.
44. Le problème de la vitesse, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.
45. Formes à donner aux carènes des bâtiments à grande vitesse, par M. G. AUROUS, Ingénieur de la Marine, Sous-Directeur de l'École du Génie maritime.
46. Les résultats de la loi sur la Marine marchande pendant les trente-trois premiers mois, par M. MULLER, Capitaine au long cours.
47. Variation de pas produite sur une hélice par la rotation des ailes dans leur moyeu, par M. DAYMARD, Ingénieur en chef de la Compagnie Générale Transatlantique.
48. La bataille de Yalu, et ses conséquences dans la construction des bâtiments de guerre, par M. FERRAND, Ingénieur de la Marine.
49. La complication des navires de guerre, ses causes et ses remèdes, par M. CRONÉAU, Ingénieur de la Marine, Professeur à l'École du Génie maritime.
50. Théorie du tangage sur une mer houleuse, par M. KRILOFF, Professeur à l'Académie navale de Saint-Petersbourg.
51. Applications de la turbine de Laval à la Marine, par M. SCIAMA, Directeur de la Maison Bréguet.
52. Note sur un type de bateaux de rivière à faible tirant d'eau, par M. PIAUD, Ingénieur en chef du Bureau Veritas.
53. Note sur le moteur rotatif, système Filtz, par M. PIAUD, Ingénieur en chef du Bureau Veritas.
54. Recherches au sujet des bouées d'hiver pour les fleuves maritimes exposés aux débâcles de glaces, par M. PIERRARD, Ingénieur de la Marine Belge.
55. Notes sur les fils et sur les câbles métalliques. par M. DUCHESNE, Ingénieur civil.
56. Note sur les charriages à glace, par M. DIBOS, Ingénieur.
57. Observations sur la façon dont l'aluminium s'est comporté dans les diverses applications qui en ont été faites à la construction navale. par M. GUILLOUX, Ingénieur de la Marine.

VOLUME N° 7 (ANNÉE 1896).

58. Théorie du tangage sur une mer houleuse, par M. KRILOFF, Professeur à l'Académie navale de Saint-Petersbourg.
59. De l'influence qu'un chargement liquide exerce sur la stabilité d'un navire, par M. P. DUHEM, Professeur de Physique théorique à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

60. Changements d'immersion, de stabilité et d'assiette éprouvés par un navire qui flotte sur des liquides de différentes densités, par M. POLLARD, Ingénieur de la Marine.
61. Note au sujet du calcul du moment résistant des gouvernails, par M. DE COURVILLE, Ingénieur de la Marine.
62. Note sur une transformation de machine compound à 5^{ks} en machine compound à 12^{ks}, par M. D'ALLEST, Directeur des Ateliers Fraissinet.
63. Sur la guerre maritime, par M. J.-A. NORMAND, Vice-Président.
64. Développement des navires de guerre dans le cours des dix dernières années, par M. LEFLAIVE, Ingénieur de la Marine.
65. Note supplémentaire sur les bateaux à faible tirant d'eau avec hélices sous voûte, par M. PIAUD, Ingénieur en chef du Bureau Veritas.
66. Derelicts, par M. DIBOS, Ingénieur.
67. La Terminologie maritime, par M. MULLER, Capitaine au long cours.
68. Considérations et données concernant les bouilleurs, par M. GAYDE, Ingénieur de la Marine.
69. Note sur la chaudière Niclausse, par M. DUCHESNE, Ingénieur civil.
70. Les nouveaux générateurs Belleville, par M. GODARD, Directeur de la Société des Générateurs Belleville.
71. Étude concernant certains aciers spéciaux, par M. ABRAHAM, Ingénieur de la Marine.

VOLUME N° 8 (ANNÉE 1897).

72. Position d'équilibre des navires sur la houle, par M. BERTIN.
73. Théorie générale des oscillations du navire sur une mer houleuse, par M. KRILOFF, Professeur à l'Académie navale de Saint-Pétersbourg.
74. Note au sujet d'expériences de perçage, par M. MAUGAS, Ingénieur des Constructions navales.
75. Montage des machines marines, par M. MORITZ, Ingénieur des Constructions navales.
76. Formules pratiques déterminant le travail à développer par les appareils moteurs du navire, par M. VECHKOURTZOFF, Ingénieur de la Marine russe.
77. Influence de la profondeur de l'eau sur la vitesse des navires, par M. LAUBEUF, Ingénieur des Constructions navales.
78. Expériences dynamométriques effectuées pendant les essais de giration du *Cassini*, par M. LAUBEUF, Ingénieur des Constructions navales.
79. Note sur les conditions de recette de l'aluminium, par M. BESSON, Ingénieur des Constructions navales.
80. Étude sur la pêche à vapeur, et sur la substitution de moteurs à pétrole aux machines actuelles, par M. DUBAR, Directeur des chantiers Cail, à Saint-Denis.

VOLUME N° 9 (ANNÉE 1898).

81. Étude sur la circulation de l'eau dans les chaudières multitubulaires, par M. BRILLIÉ, Ingénieur de la Marine.
82. Étude de la vaporisation dans les chaudières, par le même auteur.
83. Note au sujet des matériaux de construction en acier mi-dur employés sur le *Henri-IV*, par M. MOISSENET, Ingénieur des Constructions navales.
84. Sur les formes des carènes des bâtiments rapides, par M. LAUBEUF, Ingénieur des Constructions navales.

- 83. Essais d'expériences sur la résistance des carènes, par M. TURGAN, Ingénieur civil des Constructions navales.
- 86. Étude sur les arbres à manivelles des machines marines, par M. SIMONOT, Ingénieur des Constructions navales.
- 87. Quelques observations sur la construction des navires à voiles, leur mâture, leur gréement, par M. WILKINSON.
- 88. Étude expérimentale sur les vibrations dues aux machines marines, par M. PINCZON, Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique.
- 89. Considérations sur le jaugeage des navires, par M. MULLER.
- 90. De la transformation des chalands pétroliers en chalands automobiles à citernes indépendantes, par M. DIBOS, Ingénieur, Lauréat de l'Institut.

VOLUME N° 10 (ANNÉE 1899).

- 91. Règles approximatives pour le calcul de la surface propulsive, par M. J.-A. NORMAND.
- 92. Nouvelle méthode pour la détermination des centres de carène (méthode des flot-taisons isoaires). — Considérations sur l'emploi pratique de la développée mé-tacentrique différentielle, par M. L. MOISSENET, Ingénieur de la Marine.
- 93. Sur une méthode de calcul des carènes inclinées, par M. L. RAVIER, Ingénieur de la Marine.
- 94. Nouvelle méthode pour le calcul des carènes inclinées, par M. LEPARMENTIER, Contremaitre des Constructions navales.
- 95. Essais récents de croiseurs anglais, par M. PIAUD, Ingénieur de la Marine.
- 96. Chaudières multitubulaires dérivées des types Perkins et Field, par M. TURGAN, Ingénieur civil des Constructions navales.
- 97. Perfectionnements successifs apportés aux chaudières multitubulaires à petits tubes, par M. BRILLIÉ, Ingénieur de la Marine.
- 98. Description d'un nouveau type de chaudière multitubulaire, par M. BRILLIÉ, Ingénieur de la Marine.
- 99. Application du diagramme entropique à l'étude du fonctionnement économique des machines à vapeur à expansion multiple, par M. LELONG, Ingénieur de la Marine.
- 100. Note au sujet de l'évaluation du rendement économique des machines à vapeur, par M. LELONG, Ingénieur de la Marine.
- 101. Du calcul des ventilateurs et de leur installation à bord des navires de guerre, par M. LELONG, Ingénieur de la Marine.
- 102. Calcul graphique des joints rivés et des cales de renfort, par M. E. COLINET, Élève de l'École du Génie maritime.
- 103. Note sur l'emploi des bords tombés, l'épaulement des clins des tôles et la suppression des couvre-joints des abouts, par M. LE GO, Ingénieur de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
- 104. Influence des dimensions transversales des pièces sur les résultats obtenus par la trempe, l'écrouissage et sur la forme de certaines ruptures, par M. SIMONOT, Ingénieur de la Marine.
- 105. Au sujet de quelques travaux exécutés à la tâche à l'arsenal de Fou-Tchéou, par M. DOYÈRE, Ingénieur en chef de la Marine.
- 106. Nouvel outillage portatif pour le perçage sur les navires en construction, par M. MOISSENET, Ingénieur de la Marine.
- 107. Sur les divers moyens de transport de la force dans les chantiers et ateliers, par M. RAVIER, Ingénieur de la Marine.

- 108. Considérations stratégiques et tactiques relatives à l'étude des navires de guerre, par M. WOODWARD, Ingénieur de la Marine des États-Unis.
- 109. Relèvement optique des objets immergés, par M. DIBOS, Ingénieur, Lauréat de l'Institut.

VOLUME N° 11 (ANNÉE 1900).

- 110. Discours prononcé à l'ouverture du Congrès d'Architecture et de Construction navales, par M. DE BRSSY, Membre de l'Institut, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, Président de la Commission d'organisation.
- 111. Stabilité d'un paquebot après un abordage en mer, dispositions propres à prévenir le chavirement, par M. BERTIN, Directeur du Génie maritime.
- 112. Note sur une application de la théorie de la stabilité à angles finis, par M. VAN MEERTEN, Ingénieur de la Marine Néerlandaise.
- 113. Note sur un nouvel appareil de calcul : *L'exposant-mètre totalisateur*. Application au calcul des carènes inclinées, par M. BONNET, Ingénieur des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
- 114. Nouvelles recherches sur la résistance des carènes et le fonctionnement des bateaux, par M. HAACK, Membre de la Schiffbautechnische Gesellschaft.
- 115. Note sur la résistance au mouvement d'un navire, lorsque les dimensions dans le sens de la longueur, de la largeur ou de la profondeur sont modifiées dans un rapport constant, par M. GIUSEPPE ROTA, Ingénieur en chef du Génie Naval Italien.
- 116. Formules pratiques pour le mouvement du navire, par M. APONASSIEF, Sous-Inspecteur général des travaux mécaniques, Membre honoraire du Comité technique de la Marine militaire Russe.
- 117. Contribution à la théorie des hélices propulsives. par M. RATEAU, Ingénieur des Mines.
- 118. Des hélices propulsives, par M. STÉPHANE DRZEWIECKI, Ingénieur.
- 119. Adoption d'un système rationnel d'unités dans les questions de construction navale, par M. HAUSER, Ingénieur en chef de la Marine, en retraite.
- 120. Unification des résultats des calculs de navires, par M. BILES. Professeur d'Architecture Navale à l'Université de Glasgow.
- 121. Les cuirassés-croiseurs, les destroyers-estafettes et les torpilleurs sous-marins. Les trois fusions futures, par M. le Colonel VITTORIO-E. CUNIBERTI, Ingénieur en chef du Génie Naval Italien.
- 122. Le navire de combat de l'avenir, par MM. F.-C. GOODALL, M. I. N. A., et M. A.-C. HOLZAPFEL.
- 123. Note sur l'application des lois sur le jaugeage des navires en divers pays, par M. ISAKSON, Inspecteur du Lloyd's Register, Membre de l'Institution des Naval Architects.
- 124. Compte rendu des expériences faites sur un générateur Niclausse spécialement construit par la Société des générateurs inexplosibles, brevets Niclausse, pour déterminer, aux différentes allures de combustion, la vaporisation de chacun des étages de tubes. Déduction de quelques considérations pouvant être utilement appliquées à l'étude et à la construction des générateurs multitubulaires, par M. DUGÉ DE BERNONVILLE, Ingénieur de la Marine, Ingénieur en chef des ateliers J. et A. Niclausse.
- 125. Étude sur les chaudières, par M. MONTUPET, Ingénieur-Constructeur.
- 126. Mesures comparées des vibrations observées sur les croiseurs *Hansa* et *Vineta* de la Marine Allemande, par M. G. BERLING, Marinebaumeister, Membre de la Schiffbautechnische Gesellschaft.

127. Des vibrations des vapeurs, par M. OTTO SCHLICK.
128. Propulsion des navires par disques avec mouvement rectiligne alternatif et transmission par bandes métalliques, par M. GARIN Y SOCIATA, Capitaine de vaisseau de la Marine Espagnole, Général de la Armada.
129. Fatigue des tuyautages de vapeur produite par leur dilatation à chaud, par M. SIMONOT, Ingénieur du Génie maritime.
130. Note au sujet des essais d'un bateau de rivière à hélices multiples, par M. DOYÈRE, Ingénieur en chef de la Marine.
131. Protection des carènes de navires contre l'attaque des torpilles automobiles et l'action de l'éperon, et changement possible des formes et des proportions des navires de guerre pour assurer cette protection, par M. E.-E. GOULAIIEFF, Ingénieur des Constructions navales de la Marine Impériale Russe.
132. Mémoire sur un type nouveau de navire sans tangage et sans roulis, inchavirable et insubmersible après abordage, par M. TURC, Lieutenant de vaisseau.
133. Construction des vapeurs pétroliers en Suède, par M. HUGO-G. HAMMAR, Ingénieur des Constructions navales.
134. Bateaux-feux et vapeurs d'inspection du Service des phares des États-Unis, par M. WALFRID SYLVEN, Ingénieur du Lighthouse Board.
135. Les installations électriques à l'arsenal de Lisbonne et à bord du croiseur *Rainha Da Amelia*, par M. CRONEAU, Ingénieur en chef de la Marine, Directeur de l'Arsenal de Lisbonne.
136. Note sur le renflouage, par M. DAVID-W. NOAKES, Ingénieur.
137. Le dock flottant comme auxiliaire d'un navire de guerre, par M. LYONEL CLARK.
138. Appareux de manœuvre et de fixation des remorques en fil d'acier, par M. MOISENET, Ingénieur en chef de la Marine.
139. Écrans hydrauliques, par M. DIBOS, Ingénieur maritime, Lauréat de l'Institut.
140. De l'Architecture navale considérée au point de vue des affaires et de l'influence qu'elle exerce sur le commerce, par M. THÉODORE-V.-S. ANGIER, Associé de l'Institution des Naval Architects.
141. Description du chantier de Newport News Shipbuilding and Dry-Dock Company, par M. M.-S. CHACE, Ingénieur civil des Constructions navales.

VOLUME N° 12 (ANNÉE 1901).

142. Quelques remarques sur les courbes différentielles et intégrales. Étude de ces courbes en coordonnées polaires, par M. ALEX. BASSETTI, Ingénieur civil des Constructions navales.
143. Théorie générale des oscillations du navire sur une mer houleuse (suite et fin), par M. A. KRILOFF, Professeur à l'Académie Navale de Saint-Petersbourg.
144. Sur les avantages que présente, pour les navires de guerre, la combinaison d'une faible acuité et d'une grande surface propulsive, par M. J.-A. NORMAND.
145. Au sujet de la surface propulsive d'une hélice, par M. DOYÈRE, Ingénieur en chef de la Marine, Directeur de l'arsenal de Fou-Tchéou.
146. Du choix des éléments déterminant les hélices et permettant leur facile comparaison entre elles, par M. S. DRZEWIECKI, Ingénieur.
147. Note sur des essais d'hélice effectués sur les contre-torpilleurs *Dunois* et *Lahire*, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef de la Marine.
148. Chaudière marine du système Solignac et Grille, par MM. SOLIGNAC et GRILLE, Ingénieurs-Constructeurs.
149. Note sur le moteur à vapeur de M. le Comte DE CHARDONNET.

- 150. Sur la détermination des forces d'inertie dans les machines alternatives, par M. LELONG, Ingénieur principal de la Marine.
- 151. Note sur l'installation des lignes d'arbres dans les embarcations rapides à pétrole, par M. A. TELLIER fils, Ingénieur-Constructeur.
- 152. Disperseur de brouillard (fog disperser), par M. DIBOS, Ingénieur-conseil, Lauréat de l'Institut.
- 153. Note sur les projecteurs-signaux électriques de la marine française entre Calais et Douvres, par M. DIBOS, Ingénieur-conseil, Lauréat de l'Institut.

VOLUME N° 13 (ANNÉE 1902).

- 154. Note sur l'importance du rôle de la vitesse des cuirassés pendant le combat, par M. HOUEFFE, Capitaine de vaisseau.
- 155. Compte rendu d'expériences faites au moyen d'un pendule hydraulique, par M. ALEX. BASSETTI, Ingénieur civil des Constructions navales.
- 156. Contribution à l'étude du relèvement optique des épaves et navires coulés ou immergés, par M. DIBOS, Ingénieur-conseil, Expert maritime, Lauréat de l'Institut.
- 157. Surface efficace, surface nuisible et coefficient d'efficacité d'une hélice, par M. DORYÈRE, Ingénieur en chef de la Marine, Directeur de l'Arsenal de Foutchéou.
- 158. Formules pratiques sur la giration du navire (Extrait des travaux de M. B. Afonassief, Sous-Inspecteur général des travaux mécaniques, Membre honoraire du Comité technique de la Marine militaire Russe), par M. N. AFANASSIEF, Ingénieur de la Marine militaire Russe.
- 159. Sur la solidité des navires très rapides, par M. J.-A. NORMAND.
- 160. Étude sur la vapeur d'eau surchauffée, par M. J. BOULVIN, Professeur à l'Université de Gand.
- 161. Le chauffage des chaudières au naphte en Russie, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef de la Marine.
- 162. Expériences relatives au mouvement des arbres des machines marines, par M. CASTELNAU, Ingénieur principal de la Marine.
- 163. Étude sur l'irrégularité du mouvement de rotation des machines marines, par M. LELONG, Ingénieur principal de la Marine.
- 164. Note sur le perçage à terre, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef de la Marine.
- 165. Stabilité et aire de la surface développée. Méthode purement analytique, proposée pour le calcul des centres de carène d'un navire incliné, et de l'aire de la surface développée, par M. VAN MEERTEN, Ingénieur de la Marine Hollandaise, en retraite.
- 166. Application des turbines à vapeur à la propulsion des navires, par M. A. RATEAU, Ingénieur des Mines.
- 167. Le roulis des navires sur houle déterminé expérimentalement au moyen de navettes pendules, par M. G. RUSSO, Ingénieur du Génie naval Italien.
- 168. Action comparée des forces sur les solides invariables, élastiques, déformables, par M. le Comte DE MAUPROU D'ABLEIGES, Directeur du Génie maritime.

VOLUME N° 14 (ANNÉE 1903).

- 169. Quelques remarques au sujet des points d'indifférence sur l'assiette dans les navires, par M. SCRIBANTI, Ingénieur du Génie naval Italien, Professeur à l'École Royale Navale Supérieure de Gènes.

170. Les théories du choc et l'expérience, par M. le Comte de MAUPROU D'ABLEIGES, Directeur du Génie maritime.
171. Études hydrodynamiques. Application de la théorie de la source et du puits. Extension à trois dimensions, par M. VAN MEERTEN, Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite.
172. Vitesses progressives du navire, par M. B. AFONASSIEF, Sous-Inspecteur général des travaux mécaniques de la Marine Impériale Russe.
173. Note sur le perçage à l'atelier, par M. MAUGAS, Ingénieur en chef de la Marine, Sous-Directeur de l'École d'Application du Génie maritime.
174. Contribution à l'amélioration des générateurs marins à tubes d'eau, par M. DUCHESNE, Ingénieur.
175. Les turbines à vapeur, et spécialement les turbines Parsons. Leur application à la propulsion des navires, par M. HART, Ingénieur au Chemin de fer du Nord.
176. Étude sur la consommation des turbines à vapeur, application aux navires à grande vitesse, par M. BROSSER, Ingénieur en chef de la Marine.
177. Étude sur les appareils de condensation des machines marines, par M. LELONG, Ingénieur principal de la Marine.
178. Note sur le sens de rotation des hélices, sur les navires à deux hélices, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef de la Marine.
179. Détermination des éléments d'un propulseur hélicoïdal, par M. BROSSER, Ingénieur en chef de la Marine.
180. Dispositions intéressantes dans le tracé des plus grands navires à passagers et à marchandises d'Amérique, par M. WILLIAM-A. FAIRBURN, Ingénieur naval et Ingénieur mécanicien.
181. Sur un type spécial de navires destinés au transport des grains ou du minerai de fer sur les grands lacs de l'Amérique du Nord, par M. W.-F. DURAND, Professeur de machines marines à l'Université Cornell.
182. Formules pour l'établissement d'un projet de cargo-boat, par M. ALEX. BASSETTI, Ingénieur civil des Constructions navales.
183. Note sur la construction et l'échantillonnage des navires destinés à la navigation intérieure, par M. BERLHE DE BERLHE, Ingénieur du Bureau Veritas.
184. Sur les bateaux porte-trains, par M. L. RAVIER, Ancien Ingénieur du Génie maritime.
185. Réflexions sur l'importance tactique de la vitesse des cuirassés, par M. BEARD DU DÉZERT, Enseigne de vaisseau.
186. Utilisation du télégraphe sans fil. Navigation transatlantique. Abordages, par M. BEARD DU DÉZERT, Enseigne de vaisseau.
187. Application de l'acétylène à l'éclairage des phares et bouées, par M. ARMAND JANET, Ancien Ingénieur de la Marine.
188. Compte rendu d'un voyage dans la Grande-Bretagne, par M. ALEX. BASSETTI, Ingénieur civil des Constructions navales, titulaire d'une bourse de voyage (Fondation CANET).

VOLUME 15 (ANNÉE 1904).

189. Note sur le travail des matériaux d'acier pour la construction des navires, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef de la Marine.
190. Note sur un acier à haute teneur de nickel, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef de la Marine.
191. Mémoire sur la détermination des angles de calage des machines à quatre manivelles, par M. DANIS, Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique.

192. Emploi des moteurs à explosion pour la propulsion des navires, par M. GEORGES VILLE.
193. Sur la difficulté de combiner le rendement économique des chaudières avec leur sécurité de fonctionnement, par M. C.-E. STROMEYER, Ingénieur en chef de la « Manchester Steam Users Association ».
194. Contribution à l'étude de la cavitation des hélices, par M. BROSSE, Ingénieur en chef de la Marine.
195. Sens de rotation des machines sur les navires à trois hélices, par M. BROSSE, Ingénieur en chef de la Marine.
196. Étude sur les vibrations des navires, par M. LELONG, Ingénieur principal de la Marine.
197. Étude sur la transmission des sons émis dans l'eau, et son application à un système de signal maritime sous-marin, par M. ÉMILE DE MEULEMEESTER.
198. Étude graphique du coup d'aviron en canoë, par MM. les D^r LEFEUVRE et PAILLOTTE.
199. Le paquebot à turbines « *The Queen* », par M. HART, Ingénieur attaché au Service maritime du Chemin de fer du Nord.
200. Note sur les canots automobiles à grande vitesse, par M. ALPHONSE TELLIER, Ingénieur civil.
201. Étude géométrique sur diverses surfaces propulsives par rotation comparées à l'hélicôïde gauche ordinaire, par M. V. DAYMARD, Ancien Ingénieur de la Marine.
202. Déformations des solides sous l'action de forces parallèles, par M. le Comte DE MAUPROU D'ABLEIGES, Directeur du Génie maritime.
203. Études hydrodynamiques. Application de la théorie de la source et du puits. Extension à trois dimensions, par M. VAN MEERTEN, Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite

VOLUME 16 (ANNÉE 1905).

204. Note sur les essais d'une chaudière Solignac-Grille, par M. HART, Ingénieur des Services maritimes du Chemin de fer du Nord.
205. Sur la souplesse de manœuvre des machines marines, par M. LELONG, Ingénieur principal du Génie maritime.
206. Étude sur les condenseurs à surface. Calcul rationnel de ces appareils, par M. BASSETTI, Ingénieur civil des Constructions navales.
207. Théorie élémentaire de l'écoulement des gaz et des vapeurs saturées dans les turbines, par M. DANIS, Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique.
208. Note sur les essais des croiseurs Anglais de troisième classe à turbines et à machines alternatives, par M. HART, Ingénieur des Services maritimes du Chemin de fer du Nord.
209. Note concernant le torpilleur n° 294, mû par turbines Bréguet à disques de Laval, par M. DELAPORTE, Directeur des Ateliers de Paris de la maison Bréguet.
210. Note sur la consommation à puissance très réduite des torpilleurs et contre-torpilleurs, par M. DELAPORTE, Directeur des Ateliers de Paris de la maison Bréguet.
211. Des difficultés spéciales à l'accouplement direct des hélices avec les turbines à vapeur sur les navires, par M. BROSSE, Ingénieur en chef du Génie maritime.
212. Doubles hélices contre triples hélices, par M. LAUBEUF, Ingénieur en chef du Génie maritime.

- 213. Note sur un bateau glisseur, par M. le Comte DE LAMBERT.
 - 214. Quelques réflexions sur le meeting de Monaco, par M. TELLIER fils.
 - 215. Note sur la protection des navires contre les torpilles automobiles, par M. BERTIN, Directeur du Génie maritime, Membre de l'Institut
 - 216. Quelques mots sur la guerre Russo-Japonaise au point de vue de la Marine, par M. FERRAND, Ingénieur en chef du Génie maritime.
 - 217. Contribution à l'étude des efforts tranchants et des moments fléchissants dans les coques de navires, par M. SCRIBANTI, Ingénieur du Génie naval Italien, Professeur de l'École Royale navale Supérieure de Gênes.
 - 218. Étude sur le martelage et le rivetage, par M. le Comte DE MAUPEOU D'ABLEIGES, Directeur du Génie maritime.
 - 219. Méthode générale et pratique pour le calcul des pièces courbes, par M. ÉTIENNE COLINET, Ingénieur de la Société des Chantiers et Ateliers de la Gironde.
 - 220. Nouvelle contribution à l'étude de la dispersion artificielle du brouillard. Emploi de l'électricité, par M. DIBOS, Ingénieur maritime, lauréat de l'Académie des Sciences (Institut de France).
 - 221. Études hydrodynamiques. Application de la théorie de la source et du puits. Extension à trois dimensions (suite), par M. VAN MEERTEN, Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite.
-

INDEX DES NOMS DES AUTEURS DES MÉMOIRES

PUBLIÉS DANS LES SEIZE PREMIERS VOLUMES.

(Les numéros sont ceux de l'ordre de publication des Mémoires.)

ABRAHAM, 71.
AFONASSIEF, 76, 116, 158, 172.
ALHEILIG, 9, 12.
ALLEST (D'), 62.
ANGIER, 140.
AUROUS, 11, 18, 45.
AUSCHER, 7.

BARBA, 43.
BASSETTI, 142, 153, 182, 188, 206.
BÉARD DU DÉZERT, 183, 186.
BERLHE DE BERLHE, 183.
BERLING, 126.
BERTIN, 72, 111, 215.
BESSON, 79.
BILES, 120.
BONNET, 113.
BOULVIN, 160.
BRILLIÉ, 81, 82, 97, 98.
BROSSER, 176, 179, 194, 193, 211.
BUSSY (DE), 110.

CASTELNAU, 162.
CHACE, 141.
CHARDONNET (Comte DE), 149.
CLARK, 137.
COLINET, 102, 219.
COURVILLE (DE), 61.
CRONEAU, 31, 49, 133.
CUIZINIER, 4.
CUNIBERTI, 121.

DANIS, 191, 207.
DAYMARD, 22, 35, 47, 201.
DELAPORTE, 209, 210.
DIBOS, 24, 39, 40, 56, 66, 90, 100, 130, 152, 153, 156, 220.
DOYÈRE, 16, 30, 103, 130, 143, 157.
DRZEWIECKI, 15, 118, 146.

DUBAR, 80.
DUCHESNE, 53, 69, 174.
DUDEBOUT, 19.
DUGÉ DE BERNONVILLE, 124.
DUHEM, 59.
DURAND, 181.

FAIRBURN, 180.
FERRAND, 10, 48, 216.

GARIN Y SOCIATS, 128.
GAYDE, 68.
GODARD, 70.
GOODALL, 122.
GOULAÏEFF, 131.
GRILLE, 148.
GUILLOUX, 33, 57.

HAACK, 114.
HAMMAR, 133.
HART, 175, 199, 204, 208.
HAUSER, 2, 119.
HOLZAPFEL, 122.
HOUETTE, 154.

ISAKSON, 123.

JANET, 187.

KRILOFF, 29, 50, 58, 73, 143.

LAMBERT (Comte DE), 213.
LAUBEUF, 77, 78, 84, 147, 161, 164, 178, 189, 190, 212.
LECOINTE, 41.
LE COUR-GRANDMAISON, 28.
LEFEUVRE, 198.
LEFLAIVE, 64.
LE GO, 103.

- LELONG, 99, 100, 101, 150, 163, 177, 196, 203.
LEPARMENTIER, 94.
LISBONNE, 3, 5.

MARBEC, 8, 13, 20.
MAUGAS, 74, 173.
MAUPEOU D'ABLEIGES (COMTE DE), 6, 27, 168, 170, 202, 218.
MERVEILLEUX DU VIGNAUX, 41.
MEULEMEESTER (DE), 197.
MOISSENET, 83, 92, 106, 138.
MONTUPET, 125.
MORITZ, 75.
MULLER, 32, 38, 46, 67, 89.

NOAKES, 136.
NORMAND, 1, 14, 25, 26, 34, 44, 63, 91, 144, 159.

PAILLOTTE, 198.
PIAUD, 52, 53, 65, 95.
PIERRARD, 54.
PINZON, 88.
POLLARD, 19, 60.

RATEAU, 117, 166.

RAVIER, 93, 107, 184.
REFFYE (DE), 17.
RISBEC, 36.
ROTA, 115.
RUSSO, 167.

SCIAMA, 51.
SCHLICK, 127.
SCRIBANTI, 169, 217.
SIMONOT, 86, 104, 129.
SOLIGNAC, 148.
STROMEYER, 193.
SYLVEN, 134.

TELLIER, 151, 200, 214.
TURC, 132.
TURGAN, 85, 96.

VAN MEERTEN, 112, 165, 171, 203, 221.
VECHKOURTZOFF, 76.
VILLE, 192.
VIVET, 37.

WEYL, 23.
WIDMANN, 21.
WILKINSON, 87.
WOODWARD, 108.
- 

INDEX ANALYTIQUE DES MÉMOIRES

PUBLIÉS DANS LES SEIZE PREMIERS VOLUMES.

(Les numéros sont ceux de l'ordre de publication des Mémoires.)

- | | |
|---|--|
| Stabilité, 10, 16, 17, 29, 30, 59, 60, 92, 93, 94, 111, 112, 113, 120, 165, 169. | 151, 162, 163, 177, 191, 199, 200, 205, 206, 207. |
| Similitude, 34. | Types spéciaux de moteurs, 51, 53, 80, 149, 166, 175, 192. |
| Poids de coque, 2, 14. | Distribution de la vapeur, et rendement économique, 8, 21, 99, 100, 160, 176, 208, 209, 210. |
| Roulis et tangage, 13, 50, 58, 72, 73, 143, 153, 167. | Marine de guerre, guerre maritime, artillerie, 3, 5, 23, 42, 48, 49, 63, 64, 95, 108, 121, 122, 131, 144, 154, 183, 215, 216. |
| Formes et résistance des carènes, 9, 36, 44, 45, 76, 77, 84, 85, 114, 115, 116, 130, 144, 158, 171, 172, 203, 217. | Marine marchande, 28, 32, 38, 46. |
| Gouvernail, 1, 25, 61, 78, 158. | Types spéciaux de navires, 18, 52, 65, 80, 87, 90, 132, 133, 134, 180, 181, 182, 183, 184, 199, 200, 213, 214. |
| Propulseurs, 19, 128. | Jaugeage, 89, 123. |
| Hélices, 1, 15, 25, 26, 47, 91, 117, 118, 130, 145, 146, 147, 157, 178, 179, 194, 195, 201, 211, 212. | Réparations, renflouage, 31, 39, 109, 136, 137. |
| Matériaux de construction. et mise en œuvre, 4, 33, 43, 57, 71, 74, 79, 83, 103, 104, 106, 107, 164, 173, 189, 190. | Géométrie, mécanique, résistance des matériaux, 12, 20, 104, 129, 142. |
| Rivetage, 11, 102. | Divers, 24, 27, 40, 41, 54, 55, 56, 66, 67, 105, 110, 119, 135, 138, 139, 140, 141, 152, 153, 156, 168, 170, 186, 187, 188, 197, 198, 202, 218, 219, 220, 221. |
| Fatigue des coques, et vibrations, 37, 88, 126, 127, 159, 196. | |
| Générateurs à vapeur, 6, 7, 22, 35, 68, 69, 70, 81, 82, 96, 97, 98, 124, 125, 129, 148, 161, 174, 193, 204. | |
| Appareils moteurs, 62, 75, 86, 101, 150, | |
-

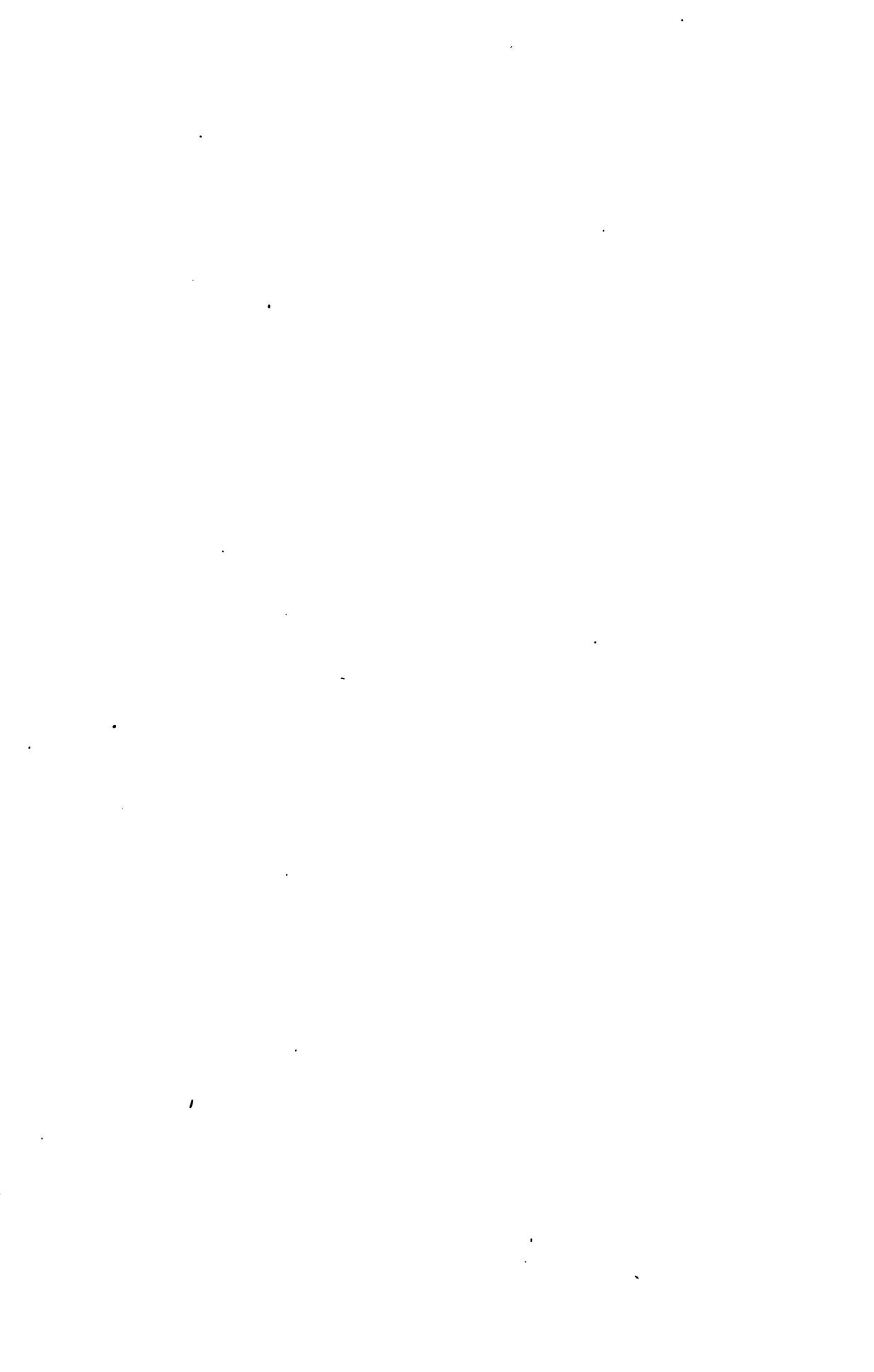


TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Statuts.....	V
Règlement intérieur.....	IX
Conseil.....	XIII
Liste des membres donateurs.....	XIV
Liste des membres d'honneur.....	XIV
Liste générale des membres.....	XXV
Seizième session de l'Association Technique Maritime.....	XXIX

SESSION DE 1906.

Stabilité d'un flotteur cylindrique sous les grands angles d'inclinaison, influence de la hauteur d'œuvres mortes, par M. E.-L. BERTIN, Directeur du Génie maritime, du cadre de réserve, Membre de l'Institut.....	I
Théorème sur le métacentre différentiel, par M. DOYÈRE, Ingénieur en chef du Génie maritime.....	9
Contribution à l'étude de la fragilité des métaux. Critique de l'épreuve du choc, par M. BROSSER, Ingénieur en chef du Génie maritime.....	13
Une expérience de choc, par le Comte DE MAUPEOU D'ABLEIGES, Directeur du Génie maritime.....	19
Remarques sur l'étude expérimentale de la circulation dans les générateurs à vapeur, par M. EMANAUD, Ancien Élève de l'École Polytechnique.....	31
Note sur la détermination des dimensions principales des turbines marines. (Suite d'une « Note sur l'écoulement des gaz et des vapeurs saturées »), par M. J. DANIS, Ingénieur de la Compagnie Générale Transatlantique.....	55
La surchauffe dans la Marine. Distribution par soupapes commandées, système Lentz, par M. GODARD, Ingénieur en chef du Génie maritime, Directeur général des Ateliers et Chantiers de Saint-Nazaire (Penhoët).....	71
Les paquebots du Midland Railway, par M. HART, Ingénieur attaché au service maritime du Chemin de fer du Nord.....	85

	Pages.
Résistance à la rotation des propulseurs dans les navires à trois hélices. Résistance de l'hélice d'un remorqueur. Une anomalie apparente de nos formules ordinaires, par M. DOYÈRE, Ingénieur en chef de 1 ^{re} classe du Génie maritime.....	121
Note sur la résistance de l'hélice centrale des navires à trois hélices, par M. BEAUSIRE, Ingénieur de la Marine, professeur à l'École d'Application du Génie maritime.....	133
Note sur les hélices. Calcul de la résistance à la rotation, par M. A. BASSETTI, Ingénieur civil des Constructions navales.....	163
Note sur le changement des roues des paquebots <i>Le Nord</i> et <i>Le Pas-de-Calais</i> , par M. HART, Ingénieur attaché au service maritime du Chemin de fer du Nord.....	169
Canots automobiles, par M. ALPHONSE TELLIER, Ingénieur-Constructeur.....	187
De la grandeur absolue des cuirassés d'escadre, en fonction de la vitesse, par M. J.-A. NORMAND.....	195
Les navires de guerre en construction aux États-Unis, par M. HENRY WILLIAMS, Ingénieur de la Marine des États-Unis.....	203
Les navires de combat pendant la guerre Russo-Japonaise, par M. C. FERRAND, Ingénieur en chef du Génie maritime.....	213
De la diversité des calibres des pièces de marine, par M. PAUL CLOAREC, Directeur de la Ligue Maritime Française.....	255
Le feu en vase clos, par M. l'abbé NOGUIER DE MALIJAY.....	261
Formules relatives à l'écoulement de la vapeur d'eau, par M. DOYÈRE, Ingénieur en chef de la Marine.....	273
Note sur la chaleur spécifique de l'eau, son entropie et celle de sa vapeur, par M. VAN MEERTEN, Ingénieur en chef de la Marine Néerlandaise, en retraite.....	281
Compte rendu d'un voyage d'études en Allemagne (juin-juillet 1906), par M. LEDIEU, Ingénieur civil des Constructions navales, titulaire d'une bourse de voyage (Fondation Canet).....	317

PLANCHES.

- I à VIII. — Note sur le changement des roues des paquebots *Le Nord* et *Le Pas-de-Calais*, par M. HART, Ingénieur, attaché au service maritime du Chemin de fer du Nord.
- IX. — Compte rendu d'un voyage d'études en Allemagne (juin-juillet 1906), par M. LEDIEU, Ingénieur civil des Constructions navales, titulaire d'une bourse de voyage (Fondation Canet).

ERRATA.

Pages.	Lignes.	Au lieu de :	Lisez :
72	2	réduire de quelques	réduire à quelques
78	3	de l'Ouest	du Nord

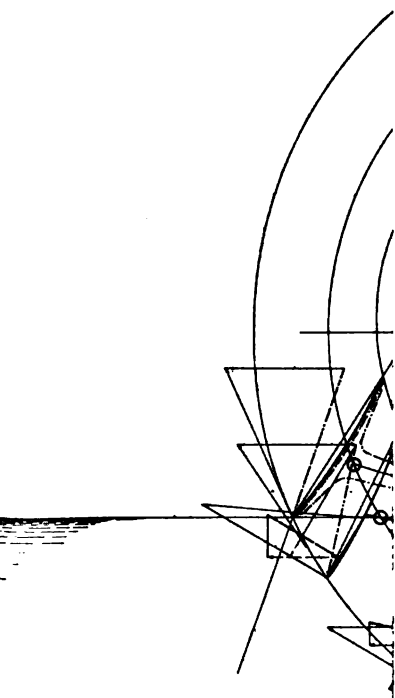
11

10

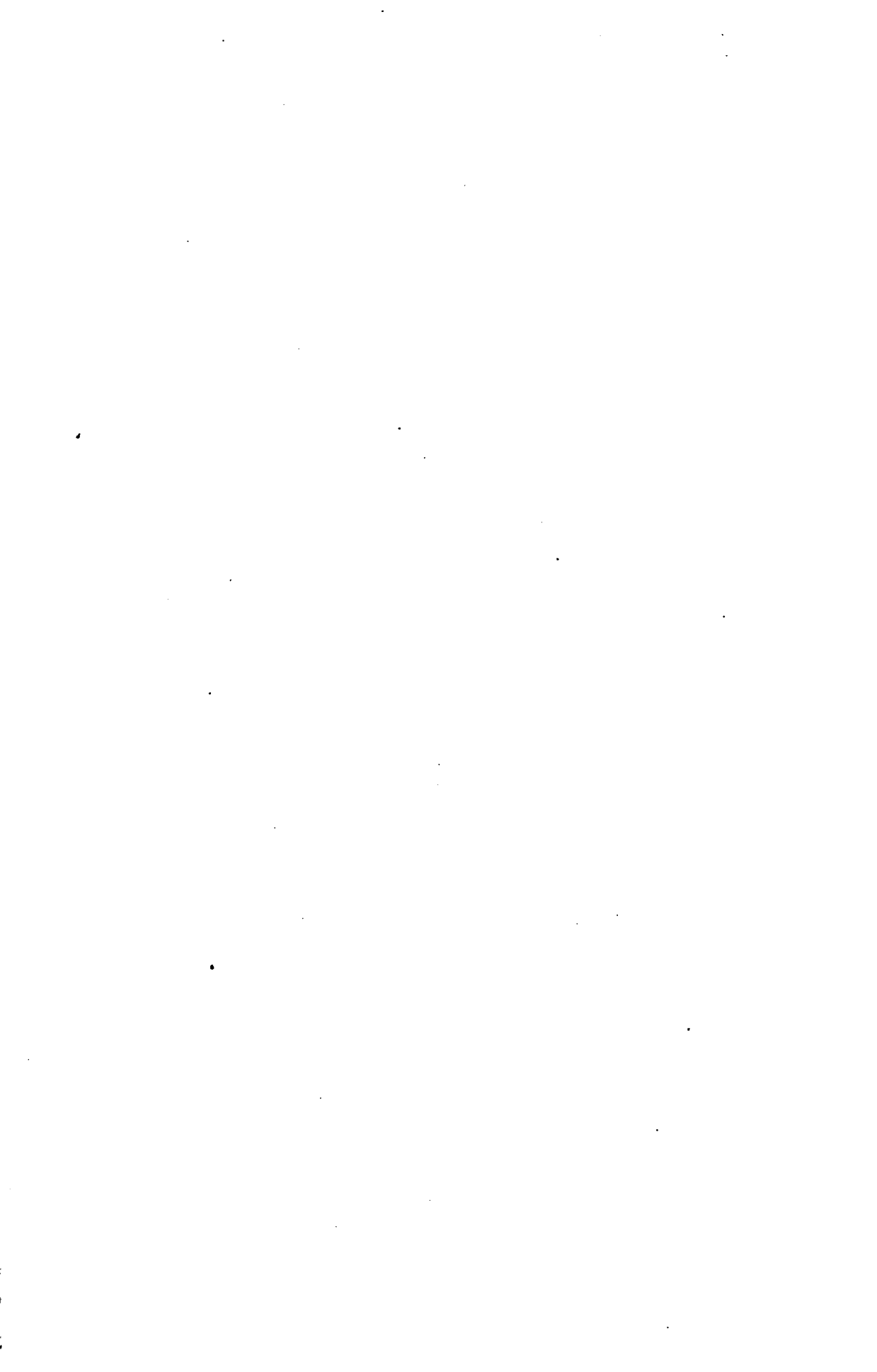
Mollaison en marche

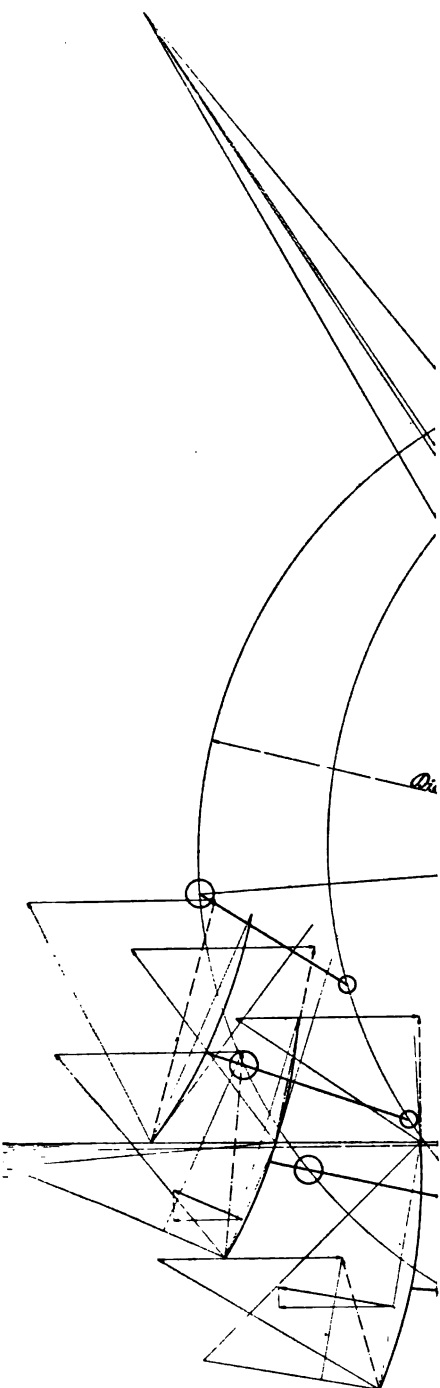
三

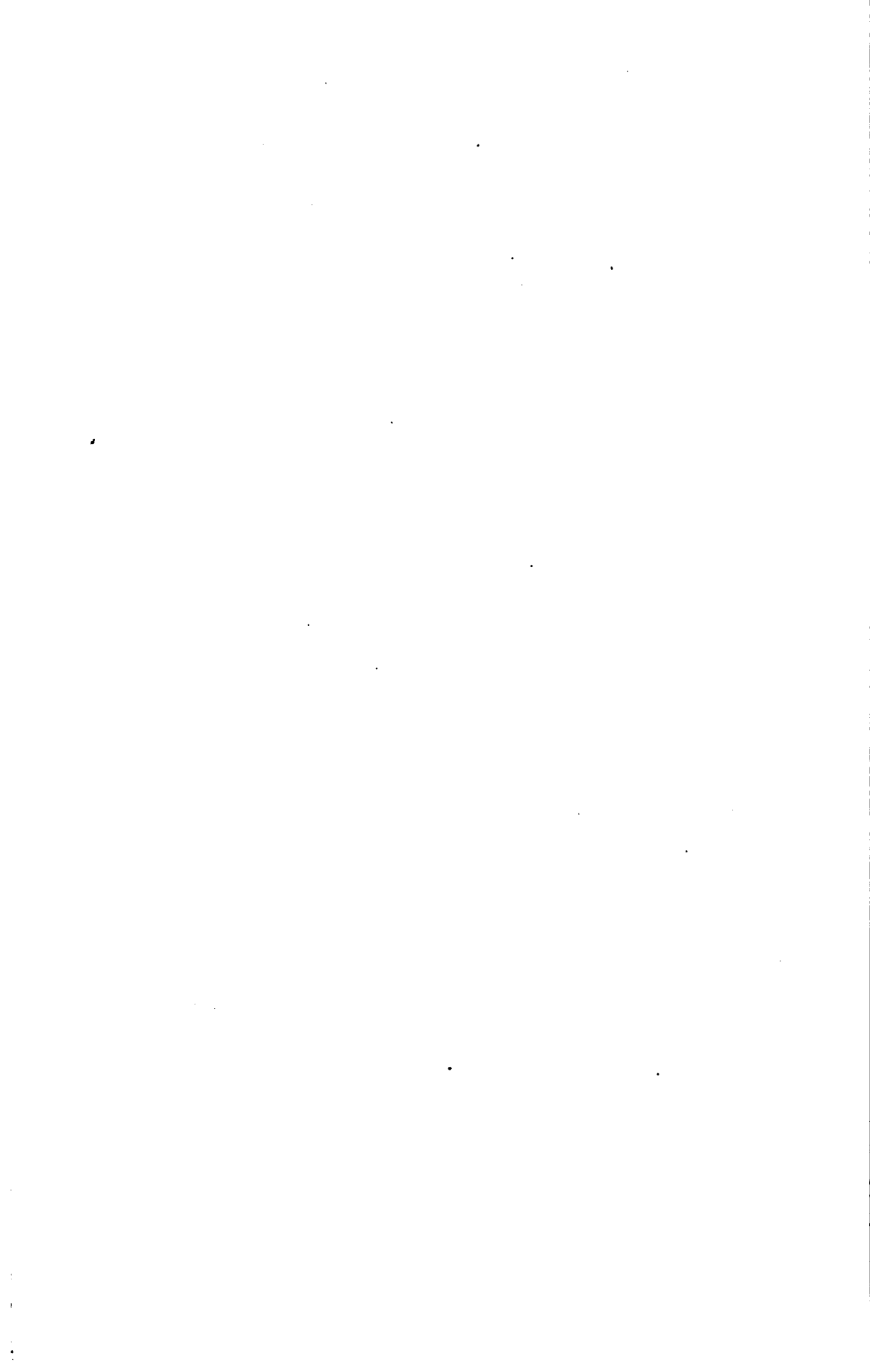
Laque

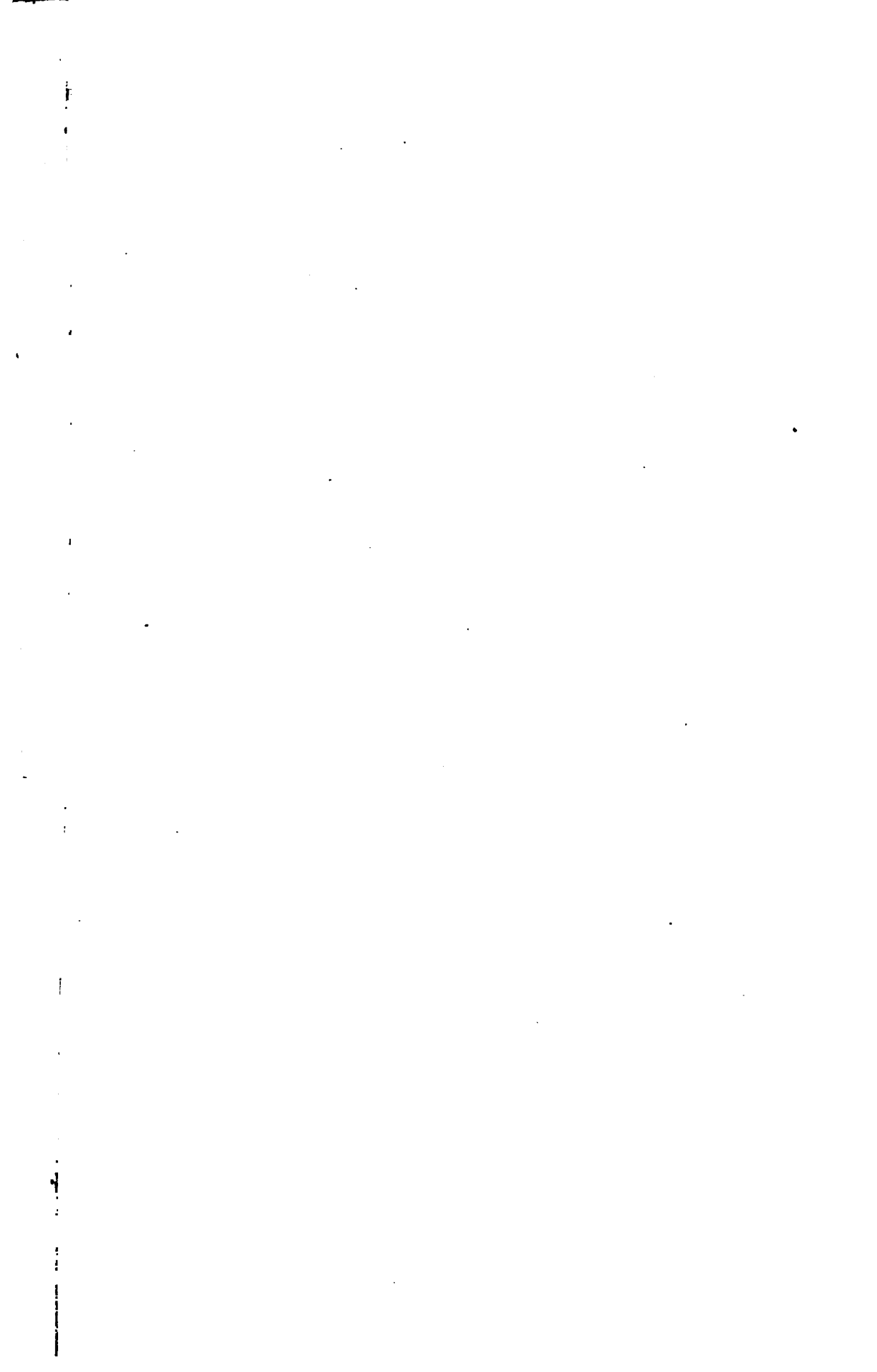


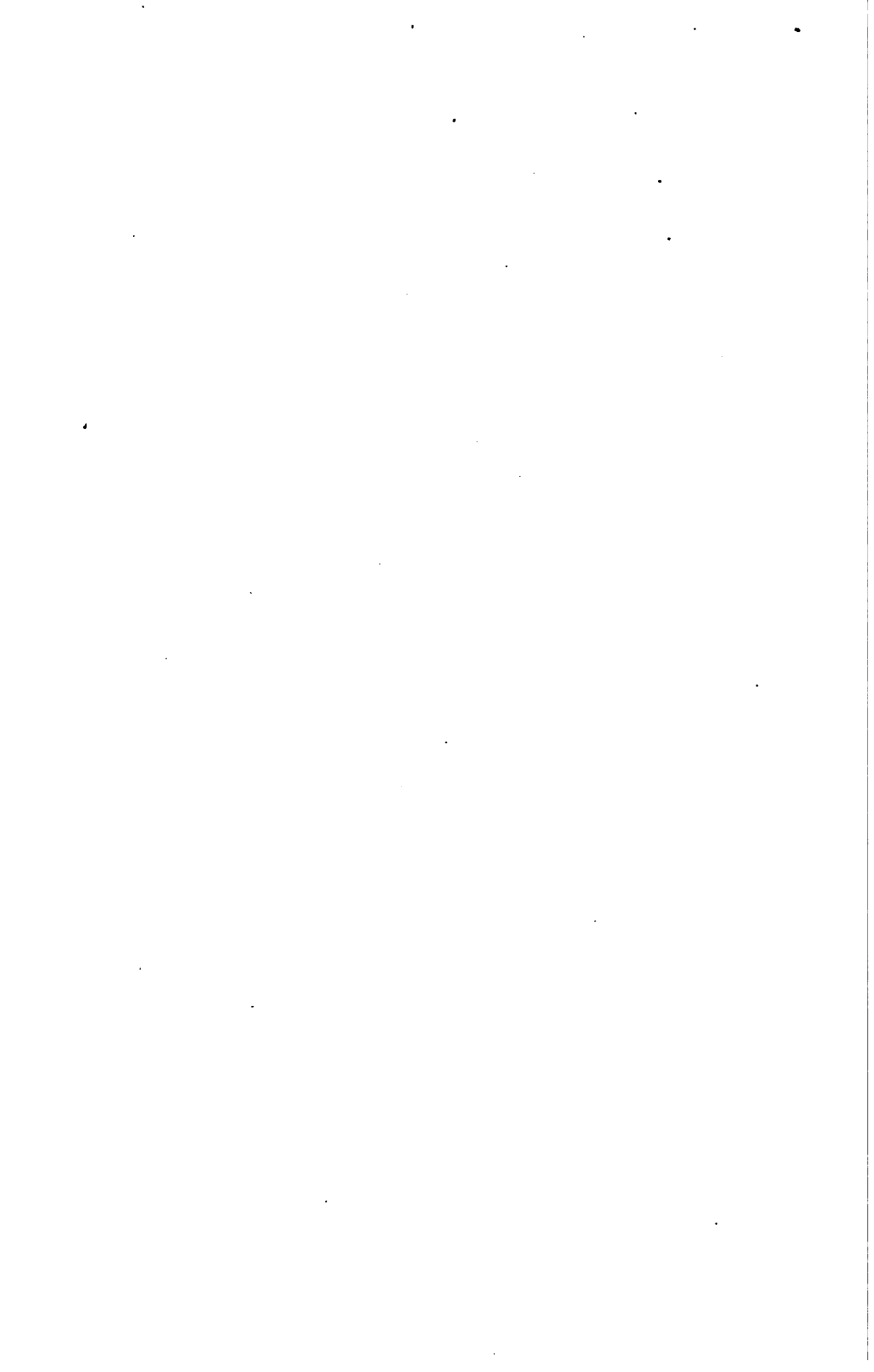
Ligne d'eau





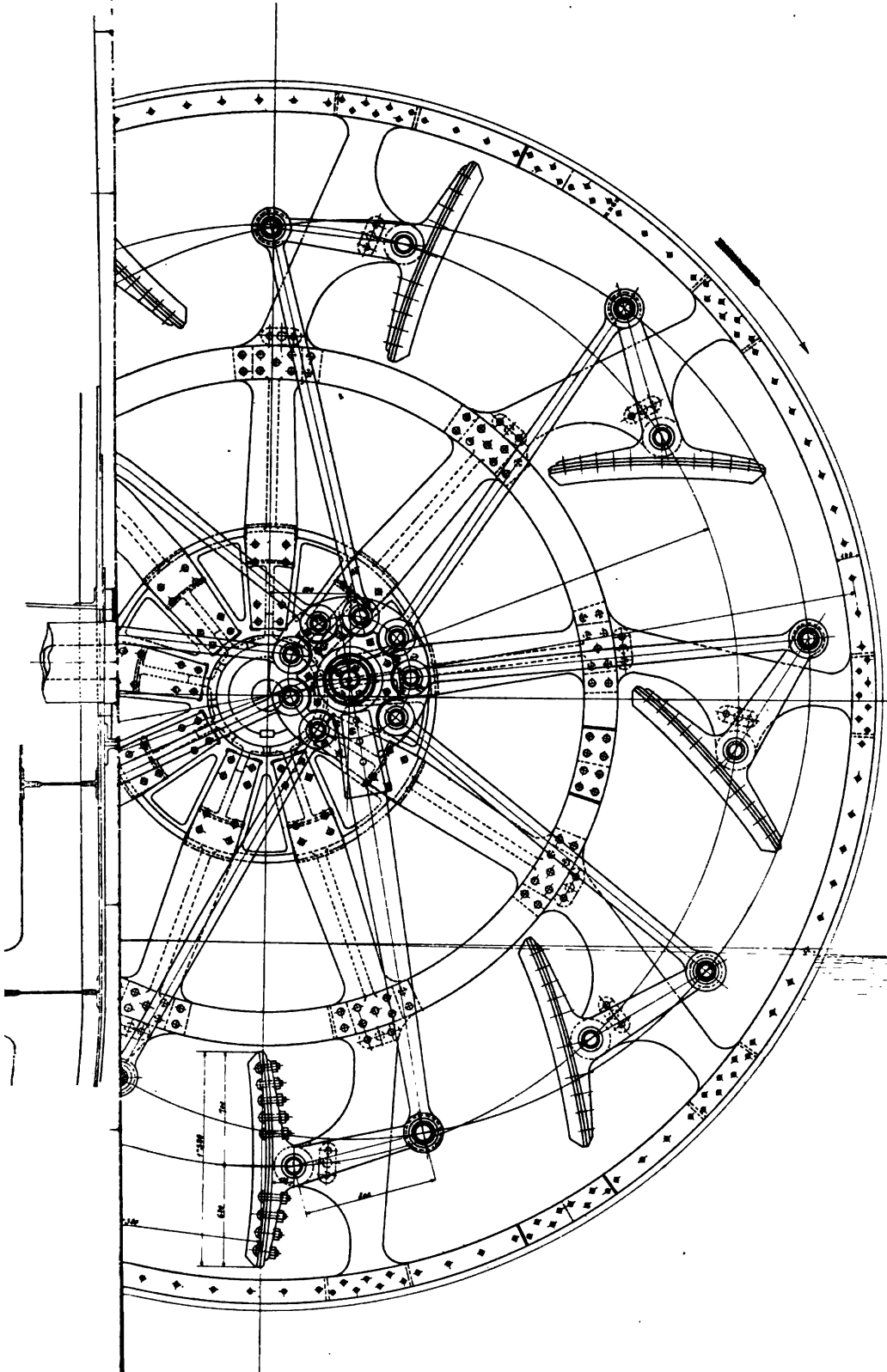






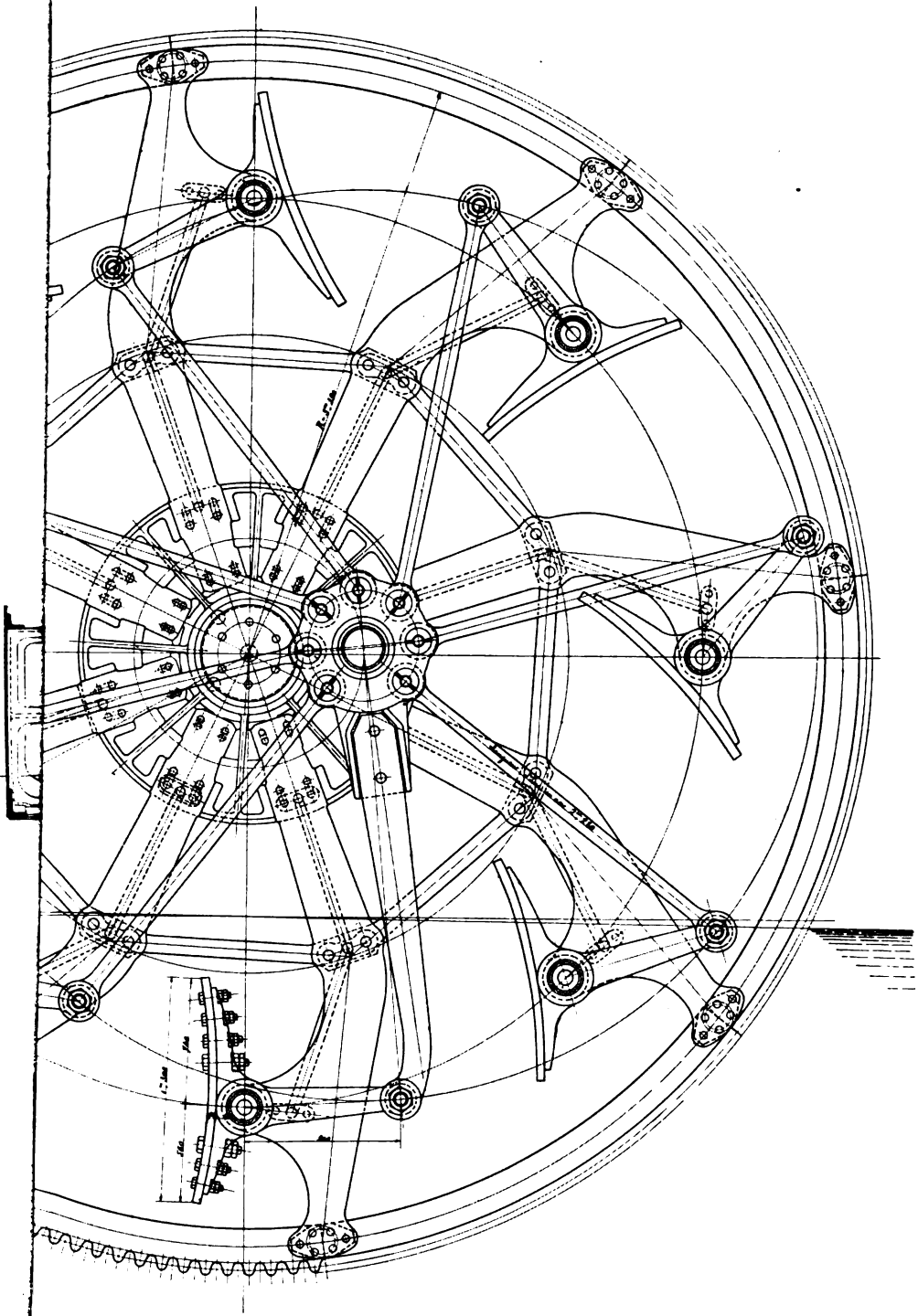
"Le Nord et Le Pas de Calais."

Roues primitives.



Es de Calais

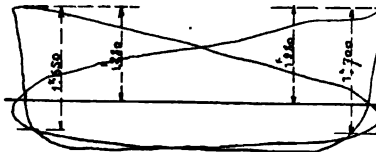
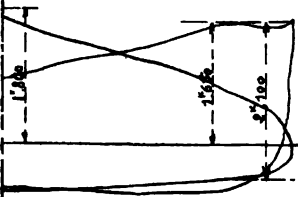
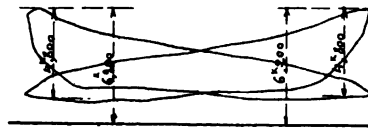
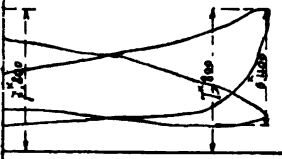
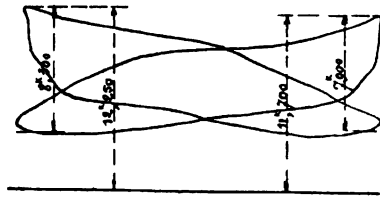
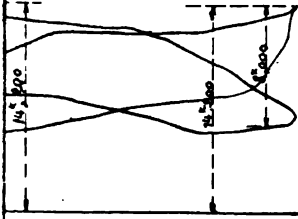
Eduit.



Le Nord
Anciennes roues

Le Pas de Calais
Nouvelles roues

5^e série



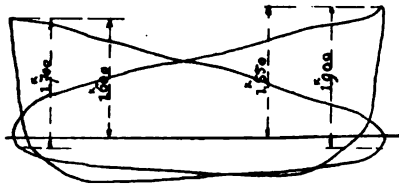
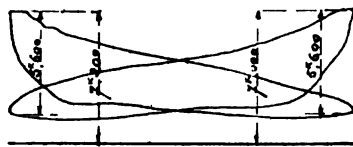
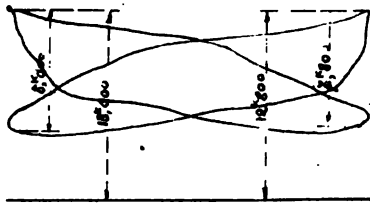
Sortie d'essai

du

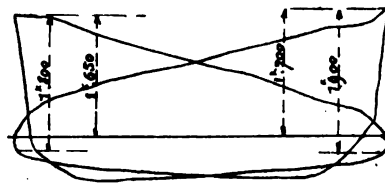
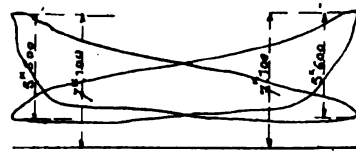
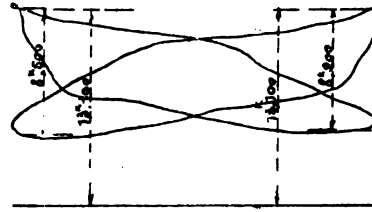
16 janvier 1906.

Marche à grande vitesse

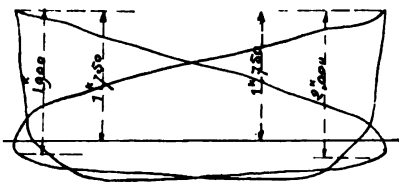
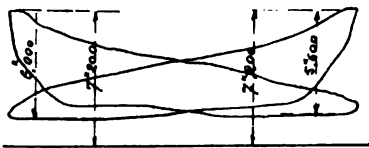
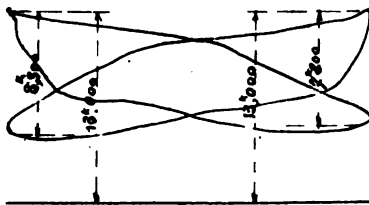
1^{re} série



3^e série

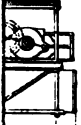


2^e série



DIEU

6 TONNES



Vue d

Mé



